



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**“Efecto de la deforestación sobre las propiedades físico-químicas de
los suelos de la microcuenca del río Zhurucay”**

*Tesis previa a la obtención del
título de Ingeniera Agrónoma*

AUTORAS:

Jéssica Valeria Merecí Guamán
Amanda Magali Suqui Velásquez

DIRECTOR: Ing. Patricio Javier Crespo Sánchez. Ph. D.

CUENCA – ECUADOR
2014



RESUMEN

Las funciones que desempeña el bosque de neblina montano dentro de los ecosistemas andinos consisten en la captación de agua, protección natural al suelo y regulación del microclima, características que son proporcionadas por la flora nativa. Actualmente, grandes extensiones de áreas boscosas son deforestadas siendo una actividad que se ha incrementado a causa del crecimiento demográfico. El objetivo principal de este estudio fue determinar el efecto de la deforestación sobre las características físico-químicas del suelo de la parte baja de la microcuenca del río Zhurucay (San Fernando) siendo necesario la toma de muestras bajo diferentes coberturas como: bosque de neblina montano, pasto con manejo, pasto sin manejo y cultivos con similar rango altitudinal y pendiente. Las propiedades físicas se determinaron in situ y en laboratorio mediante muestras inalteradas; mientras que las propiedades químicas se analizaron con muestras alteradas de suelo. El análisis de datos se realizó por epipedones y endopedones con sus respectivos parámetros físicos y químicos en los que se aplicó estadística no paramétrica para identificar diferencias entre bosque de neblina montano y zonas intervenidas de forma antrópica. Posteriormente se realizó un análisis discriminante para clasificar las observaciones de acuerdo al grado de similitud y observar la probabilidad de pertenencia a uno u otro grupo. Los resultados obtenidos indican que la deforestación afecta las propiedades del suelo bajo cobertura nativa de diferente forma según el uso establecido. Observando que existen diferencias principalmente en epipedones (horizontes superficiales) con una pérdida total o modificación de la capa orgánica y a la vez alteración en parámetros ligados a esta propiedad, mostrando mayor variación en los suelos bajo pasto con manejo, seguido por cultivos y finalmente pasto sin manejo.

PALABRAS CLAVE: BOSQUE DE NEBLINA MONTANO, DEFORESTACIÓN, USO DEL SUELO, ECOSISTEMAS ANDINOS, EPIPEDONES, ENDOPEDONES.



ABSTRACT

The montane forests are considered the most important ecosystems in the Andean mountains, because they play an essential role in catchments of water, protection of soil; furthermore, the regulating capacity is provided by the native vegetation of these regions. Currently, great extensions of forest zones have been deforested as a result of population growth. The aim of this study was to determinate the effect of deforestation on physical and chemical properties of soil in a montane zone, in the low part of Zhurucay river basin (San Fernando). We compare the possible effects of deforestation making as a base line the remains of mountain forest areas versus the actual land use, in this case where were took soil samples in montane forest, pasture with management, pasture without management and farming land to compare the chemical and physical properties of soils. The different type of use land and the sample sites had a similar range and altitudinal gradient. The physical properties considered in this work were: texture, pF curves, bulk density, and hydraulic conductivity while the chemical properties considered were: pH, NO_3 , NH_4 , SB, Ca, and etc. which determined instead in the soil laboratory with undisturbed and disturbed soil samples. The data analysis was done in surface and subsurface layers with their different physical and chemical properties and then was used non parametric statistic methods to find differences between soils under forest and intervened soils. Subsequently a discriminant analysis was done to find a similar grade in the observations and the probability to conform groups. This research demonstrates differences between surfaces layers when a several loss of organic layer and an alteration of parameters like bulk density, hydraulic conductivity, and some chemical parameters, also there is a biggest variation in soils under pasture with management following by corps and finally pasture without management.

KEY WORDS: MONTANE FOREST, DEFORESTATION, LAND USE, ANDEAN MOUNTAINS, ORGANIC LAYER, SURFACE AND SUBSURFACE LAYERS.



ÍNDICE

RESUMEN	
ABSTRACT	
1. INTRODUCCIÓN	1
2. JUSTIFICACIÓN	3
3. OBJETIVOS	4
3.1. Objetivo General	4
3.2. Objetivos Específicos	4
3.3. HIPÓTESIS	4
4. REVISIÓN DE LITERATURA	5
4.1. Bosque de neblina montano	5
4.2. Importancia del bosque de neblina montano	6
4.2.1. Ciclo Hidrológico	7
4.2.2. Biodiversidad	8
4.2.3. Calidad de Aire y Captura de carbono	9
4.3. Deforestación en el Ecuador	10
4.3.1. Causas de la deforestación	11
a) Expansión la frontera agrícola y ganadera	11
b) Relación entre la deforestación de bosque de neblina montano y el crecimiento demográfico	11
c) Extracción de productos forestales	12
4.3.2. Efectos de la deforestación	12
a) Efectos de la deforestación en propiedades físicas del suelo	12
b) Efectos de la deforestación en las propiedades químicas del suelo	14
c) Efectos en la economía	16
5. MATERIALES Y MÉTODOS	18



5.1.	Área de estudio.....	18
5.1.1.	Descripción del área de estudio.....	19
5.1.2.	Vegetación.....	20
5.1.3.	Geología	21
a)	Formación Quimsacocha	21
b)	Formación Turi.....	21
c)	Formación Tarqui (Mioceno tardío).....	22
5.1.4.	Suelos.....	22
5.2.	Identificación de los sitios de estudio dentro de la microcuenca del río Zhurucay.....	23
5.3.	Análisis estadístico para la identificación del impacto de la deforestación sobre las propiedades físico-químicas del suelo	27
5.4.	Determinación de propiedades físico-químicas de los suelos de la cuenca baja del río Zhurucay.....	29
5.4.1.	Determinación de propiedades físicas	29
5.4.1.1.	Estructura	29
5.4.1.2.	Color	29
5.4.1.3.	Textura.....	29
5.4.1.4.	Densidad aparente	30
5.4.1.5.	Conductividad hidráulica saturada.....	31
5.4.1.6.	Capacidad de retención de humedad	32
5.4.2.	Determinación de propiedades químicas.....	35
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
6.1.	Caracterización de parámetros físico-químicos de suelos bajo cobertura bosque de neblina montano.....	37
6.2.	Efecto de la deforestación sobre los epipedones	43



6.2.1.	Efecto de la deforestación en los epipedones bajo pasto sin manejo.	44
6.2.2.	Efecto de la deforestación en los epipedones bajo pasto con manejo	46
6.2.3.	Efecto de la deforestación en epipedones bajo cultivo	48
6.3.	Análisis de propiedades físico-químicas en conjunto bajo epipedones	55
6.4.	Efecto de la deforestación sobre los endopedones	56
6.4.1.	Efecto de la deforestación en los endopedones bajo pasto sin manejo	57
6.4.2.	Efecto de la deforestación en los endopedones bajo pasto con manejo	58
6.4.3.	Efecto de la deforestación en los endopedones bajo cultivo	59
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
7.1.	CONCLUSIONES	65
7.2.	RECOMENDACIONES	67
8.	BIBLIOGRAFÍA	69
9.	GLOSARIO	84
10.	ANEXOS	87



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio a nivel nacional	18
Figura 2. Precipitación y temperatura registrada en los años 2011-2013 en el área de estudio	20
Figura 3. Perfil de un Phaeozem.....	23
Figura 4. Tipos de cobertura seleccionadas para el estudio	24
Figura 5. Sitios de muestreo en la microcuenca del río Zhurucay	27
Figura 6. Toma de muestras inalteradas con anillos kopecky	30
Figura 7. Esquema del método de pozo invertido.....	31
Figura 8. Determinación de conductividad hidráulica mediante el método de pozo invertido.....	32
Figura 9. Determinación del contenido de humedad a pF 0; 0,5 y 1,5 en el laboratorio de hidrofísica de la Facultad C.C.A.A	33
Figura 10. Determinación del contenido de humedad a pF 2,3 en el laboratorio de hidrofísica de la facultad de C.C.A.A.....	34
Figura 11. Determinación del contenido de humedad a pF 3,4 y 4,2 en el laboratorio de hidrofísica de la facultad de C.C.A.A.....	35
Figura 12. Diagrama de caja de variables estadísticamente significativas en epipedones	51
Figura 13. Distribución de las observaciones e influencia de variables de epipedones	55
Figura 14. Diagrama de caja de variables estadísticamente significativas en endopedones	60
Figura 15. Distribución de las observaciones e influencia de variables de endopedones	64



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rangos de significancia de la prueba de U Mann-Whitney	28
Tabla 2. Valores mínimo - máximo, promedio y mediana de las propiedades físicas de epipedones de 4 tipos de cobertura vegetal	39
Tabla 3. Valores mínimo- máximo, promedio y mediana de las propiedades físicas de endopedones de 4 tipos de cobertura vegetal	40
Tabla 4. Valores mínimo- máximo, promedio y mediana de las propiedades químicas de epipedones de 4 tipos de cobertura vegetal	41
Tabla 5. Valores mínimo- máximo, promedio y mediana de las propiedades químicas de endopedones de 4 tipos de cobertura vegetal	42
Tabla 6. Valores p (nivel de significancia) de la prueba de U Mann-Whitney de las propiedades físico-químicas de epipedones	43
Tabla 7. Valores p (nivel de significancia) de la prueba de U Mann-Whitney de las propiedades físico-químicas de endopedones	56



ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Sitios de muestreo de la parte baja de la microcuenca del río Zhurucay.....	87
ANEXO 2. Ficha de datos de campo y de registro de lecturas del método de pozo invertido.....	121
ANEXO 4. Ficha de laboratorio para datos requeridos en la obtención de contenido de agua del suelo	123
ANEXO 5. Valores p de la prueba de normalidad Shapiro-Wilks de las propiedades físico-químicas de epipedones.....	124
ANEXO 6. Valores p de la prueba de normalidad Shapiro-Wilks de las propiedades físico-químicas de endopedones.....	125
ANEXO 7. Correlaciones de Spearman de las propiedades físico-químicas en epipedones	126
ANEXO 8. Correlaciones de Spearman de las propiedades físico-químicas en endopedones	128
ANEXO 9. Estadística descriptiva de las propiedades físicas-químicas de epipedones bajo los distintos tipos de cobertura	130
ANEXO 10. Diagrama de tallo y hoja de propiedades físico-químicas de epipedones (horizontes superficiales).....	142
ANEXO 11. Mapa de uso actual de la microcuenca del río Zhurucay	146



Yo, Jéssica Valeria Merecí Guamán, autora de la tesis “Efecto de la deforestación sobre las propiedades físico-químicas de los suelos de la microcuenca del río Zhuruca”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 5 de mayo del 2014

Jéssica Valeria Merecí Guamán

0104785761



Yo, Amanda Magali Suqui Velásquez, autora de la tesis “Efecto de la deforestación sobre las propiedades físico-químicas de los suelos de la microcuenca del río Zhurucay”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 5 de mayo del 2014

Amanda Magali Suqui Velásquez
1721055026



Yo, Jéssica Valeria Merecí Guamán, autora de la tesis “Efecto de la deforestación sobre las propiedades físico-químicas de los suelos de la microcuenca del río Zhurucay” reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de (título que obtiene). El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor/a

Cuenca, 5 de mayo del 2014

Jéssica Valeria Merecí Guamán

0104785761



Yo, Amanda Magali Suqui Velásquez, autora de la tesis “Efecto de la deforestación sobre las propiedades físico-químicas de los suelos de la microcuenca del río Zhurucay”, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de (título que obtiene). El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor/a

Cuenca, 5 de mayo del 2014

Amanda Magali Suqui Velásquez

1721055026



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



1. INTRODUCCIÓN

Debido al crecimiento de la población y consecuente el incremento en la demanda de alimentos, las áreas de cultivo en regiones Andinas se han expandido considerablemente. Para lograr este objetivo las áreas de bosque de neblina montano han disminuido para ser reemplazadas por pastos y cultivos, en este sentido el suelo es labrado para sembrar especies agrícolas incrementando así el uso de fertilizantes lo que produce cambios en propiedades físicas y químicas del suelo como en la estructura y en la fertilidad natural. Posteriormente un suelo degradado es convertido en pastizales con fines ganaderos (Buytaert et al., 2002). El conjunto de estas actividades resultan en la disminución y pérdida considerable de recursos naturales y al mismo tiempo en una amenaza contra la biodiversidad de áreas forestales nativas de los Andes ecuatorianos.

La actividad que más afecta a bosques montanos es la deforestación y el consiguiente cambio de uso de suelo, lo que provoca la alteración en el equilibrio y estabilidad de las propiedades físicas y químicas del suelo, ya que al darse un cambio de cobertura se produce una modificación del microclima, presenciándose mayor incidencia de rayos solares, lo contrario a mantener un bosque de neblina montano cuya cobertura reduce en un 90% el impacto solar en el suelo. También disminuye 4° C de temperatura manteniendo un ambiente más húmedo en un 10% y reduce la velocidad del viento en una cuarta parte impidiendo el proceso de erosión y disminuyendo la evaporación (Parde, 1978).

Osorio y Bahamon (2008) y Hofstede (1995) mencionan que uno de los recursos naturales más importantes dentro de los ecosistemas de alta montaña son los suelos, los cuales son capaces de almacenar hasta 500 litros/ m³ en el primer metro de perfil debido a su alto contenido de materia orgánica. A pesar de esto no se conoce con claridad cuál es la magnitud del impacto al alterar las condiciones naturales de éste recurso. El suelo es considerado el núcleo de la producción de alimentos, es decir la biomasa



requerida por el hombre para satisfacer necesidades. Otras funciones que cumple el suelo son: la infiltración, amortiguamiento, resguardo de la cadena alimenticia y protección del agua subterránea a través de la transformación de sustancias que contaminan el ambiente, actuando como desintoxicador (soporta considerables cantidades de contaminantes), al mismo tiempo es la reserva de genes y biodiversidad por lo que es el hábitat biológico con mayor cantidad y calidad de organismos de toda la biota (Blum, 1997). Al no existir intervención en suelos de cobertura natural existe equilibrio entre los componentes de un ecosistema siendo soporte y fuente de nutrientes lo que conlleva a la productividad y sostenibilidad del recurso suelo, hechos que se pueden evidenciar en una mejor calidad ambiental, seguridad alimentaria y salud de la tierra (Kennedy y Smith, 1995).

Al ocurrir un cambio de uso de suelo el mismo que es capaz de soportar un ligero proceso de sequedad debido a la pérdida de humedad, aumentando el proceso de mineralización lo que modifica químicamente la capa orgánica, así también Tobón (2009) indica que el cambio de cobertura produce una disminución drástica en el contenido de materia orgánica debido a su descomposición acelerada y a la falta de adición de hojarasca, perturbando propiedades físicas como: textura, estructura, conductividad hidráulica, retención de humedad y de la misma manera influye en la pérdida de nutrientes.

Debido a las razones mencionadas se ha visto necesario la ejecución de éste estudio con el fin de profundizar el conocimiento sobre cambios y alteraciones que se producen en características físicas y químicas del suelo a causa de la deforestación, comparando propiedades de suelos bajo cobertura no intervenida (bosque de neblina alto) con propiedades de suelos bajo coberturas intervenidas (pasto sin manejo, pasto con manejo y cultivos).



2. JUSTIFICACIÓN

Con esta investigación se enfatiza la problemática de la deforestación en bosque de neblina montano y su efecto en características físicas y químicas del suelo, cabe señalar que en la zona no se han realizado estudios relacionados a este tema, tomándose éste estudio como línea base para el desarrollo de investigaciones relacionadas con el deterioro de recursos naturales del país, siendo uno de los más importantes el suelo, considerado como sustento de vida de una extensa gama de microorganismos, como de vegetación nativa y hábitat natural para la adaptación y desarrollo de los mismos, de igual forma estos ecosistemas brindan recursos innumerables a la humanidad, siendo ésta la autora principal de su degradación y de la pérdida de biodiversidad. Con el crecimiento de la población y el incremento de la demanda de alimentos, la tierra cultivada en regiones andinas se ha expandido, para lograr este fin la vegetación de bosques es quemada y el suelo es labrado para fines agrícolas, ampliando el uso abonos químicos motivo por el cual la estructura del suelo cambia y su fertilidad natural disminuye, zonas que posteriormente son convertidas en pastizales con fines ganaderos (Buytaert et al., 2002).

Los resultados obtenidos en esta investigación permitirán enriquecer conocimientos respecto a los cambios que sufren los suelos bajo bosque de neblina montano a causa de la deforestación para fines agropecuarios, permitiendo así la apertura de nuevas investigaciones que se enfoquen con mayor claridad en la influencia del cambio de cobertura en las propiedades del suelo, y de esta forma tomar de decisiones para proyectos de conservación de biodiversidad de la zona, como también proyectos para el manejo adecuado del suelo, para incentivar el uso y recuperación de tierras abandonas o de baja productividad para evitar la ampliación de la frontera agropecuaria.



3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

- Determinar el efecto de la deforestación sobre las propiedades físico-químicas de los suelos de la microcuenca del río Zhurucay.

3.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar las propiedades físico-químicas de los suelos de estudio en la cuenca baja del río Zhurucay.
- Identificar si la deforestación afecta a las propiedades físicas del suelo.
- Identificar si la deforestación afecta a las propiedades químicas del suelo.

3.3. HIPÓTESIS

3.3.1. Hipótesis alternativa₁: La deforestación afecta a las propiedades físicas del suelo.

3.3.2. Hipótesis alternativa₂: La deforestación afecta a las propiedades químicas del suelo.



4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Bosque de neblina montano

En Ecuador el bosque de neblina montano se ubica en un rango altitudinal de 1500m hasta los 2800 o 2900 m s.n.m. dentro de la cordillera de los Andes, en esta parte de la cordillera es difícil separar el bosque de neblina, del bosque montano alto y la Ceja Andina debido a que la cordillera es muy baja (Sierra, 1999). Brown y Kapelle (2001) consideran al Ecuador como el segundo país de América del Sur con mayor superficie de bosques nublados con 11200000 hectáreas, de las cuales tan solo 1448700 hectáreas están protegidas. Kapos et al. (2000) indican que los bosques están ubicados en zonas montañosas o en cordilleras andinas con alta incidencia de niebla que se caracterizan por un clima templado en donde la irradiación es menor que en los páramos, debido a que los ecosistemas de bosque de neblina se encuentran en zonas de condensación en donde la niebla es continua, la humedad relativa se mantiene constante durante la mayor parte del tiempo aún sin la presencia de precipitaciones (Hofstede et al., 1998). Mundialmente existen 4000 millones de hectáreas de bosques los mismos que ocupan alrededor del 30% de la superficie terrestre (FAO, 2007). Los bosques montanos del Ecuador cuentan con la mayor diversidad florística de especies, aproximadamente con el 64% constituido por helechos arbóreos, gimnospermas primitivas, musgos y orquidáceas (Bruijnzeel, 2000). En otra instancia Romero (1999) indica la relevancia de especies nativas epífitas dentro del bosque montano ya que cumplen la función de retener agua, atrapar semillas, interceptar y retener NO_3 , el autor recalca la relación entre el desarrollo de una gran masa de epífitas con la condición climática estable de un bosque.

Bruijnzeel y Hamilton (2000) señalan la importancia de los bosques de niebla en la captación de agua la que se condensa en la vegetación, al mismo tiempo son capaces de proveer agua limpia a las poblaciones de montaña. Según Hostettler (2002) estos ecosistemas se encuentran en amenaza por



el crecimiento demográfico, uso incorrecto de recursos naturales y por la falta de desarrollo de políticas que amparen el cuidado de los bosques montanos.

Se cree necesario mencionar que el Ministerio del Ambiente del Ecuador ha creado una política de conservación llamada Programa Socio Bosque con un enfoque en la conservación de bosques nativos y su biodiversidad, reducción de la deforestación, de las emisiones de carbono a la atmósfera y de la pobreza en áreas rurales mediante el pago de incentivos directos para la conservación de los ecosistemas naturales, gracias a este mecanismo se están protegiendo 837491 hectáreas de bosques nativos y otros ecosistemas prioritarios (MAE, 2008).

4.2. Importancia del bosque de neblina montano

Según Kristrom et al. (2001) evaluar el valor económico de los bosques es complicado por las diversas funciones que desempeñan en diferentes aspectos del bienestar humano y al mismo tiempo proveen servicios ecológicos en los que se incluye: la conservación de la biodiversidad, regulación del clima, estabilidad de la estructura del suelo, captura de carbono y control de la erosión y sobre todo por sus excepcionales funciones de regulación hídrica y mantenimiento de una alta calidad del agua. Los bosques montanos pluviales (subandinos, andinos y altoandinos) presentan una dinámica hídrica poco convencional (Bruijnzeel, 2001), donde la niebla y la lluvia, que es transportada por el viento, se convierten en un aporte adicional de agua al sistema (Tobón y Arroyave, 2007). Las comunidades cercanas a estos ecosistemas se ven beneficiadas por la extracción de leña y consumo de frutas silvestres o plantas medicinales, lo que influye de cierta forma en el desarrollo económico de la sociedad.



4.2.1. Ciclo Hidrológico

La vegetación es capaz de interceptar el agua de la lluvia disminuyendo el impacto brusco en el suelo, captando también la precipitación horizontal (niebla). Una parte del agua captada por el dosel arbóreo y plantas epífitas se evapora a la atmósfera lo que da como resultado la formación de nubes antes de que esta agua se precipite como lluvia de vuelta al bosque y otra parte es utilizada por las plantas para su transpiración (proceso mediante el cual las plantas liberan agua a través de las hojas), lo que contribuye con la precipitación local aportando a mantener cierta humedad en períodos de sequía, creando así un microclima propio de los bosques (González, 2011).

Debido a la alta cantidad, acumulación y adición de materia orgánica (hojarasca, ramillas, frutos secos) que existe en los bosques es posible mantener la estructura del suelo estable contribuyendo de esta forma a controlar la erosión, ya que estos suelos poseen una alta capacidad de infiltración ayudan a disminuir las tasas de escorrentía superficial e intervienen en la reducción de sedimentos o nutrientes concentrados en el agua de los ríos. Los suelos bajo el bosque cumplen con la función de absorber el agua de la precipitación reteniéndola dentro de sus porosidad y mediante este sistema la microcuenca es capaz de mantener un caudal estable durante todo el año incluyendo las épocas secas, por lo que mantener una cobertura forestal nativa es de alta relevancia en la conservación de suelos y así mismo para proveer de agua limpia a las comunidades que dependen de estos ecosistemas (Sanabria, 2001).

Según Lara et al. (2003) las cuencas cubiertas por bosque nativo presentan un caudal entre 3 y 6 veces más alto que el de cuencas con otro tipo de cobertura como: praderas o plantaciones forestales de pino o eucalipto.



4.2.2. Biodiversidad

Un análisis realizado por el Ministerio del Medio Ambiente (2009) considera a este país como uno de los 17 mega diversos del mundo ya que representa el 10% de todas las especies de plantas del planeta, caracterizado por presentar riqueza en biodiversidad y endemismo. Aquí existen 25 de las 30 zonas de vida de Holdridge correspondiendo a 46 ecosistemas entre ellos se encuentran los bosques nublados, los mismos que poseen una alta diversidad por unidad de superficie y un endemismo extraordinario, algunos investigadores como Dirnböck et al. (2003) identifican a los bosques nativos de montaña como puntos vitales de biodiversidad ya que en estos ecosistemas habitan un sin número de especies de plantas, aves, mamíferos; especies endémicas que conforman la diversidad ecológica del bosque que también aportan a la seguridad alimentaria; la existencia de ciertas especies de moras, hierbas medicinales, hongos y oportunidades de caza, pesca, producción de miel formando un complemento de la economía local.

En todo el Ecuador se han registrado 17000 especies de plantas de las cuales 4000 son endémicas, la característica principal de estos bosques está dada por la abundancia de epífitas como: orquídeas, huicundos, musgos, líquenes y helechos adheridos a los troncos de los árboles; en el sotobosque crecen diversas especies de hierbas como: begonias (*Begonia silvestre*), fucsias (*Fuchsia* sp.), sachá congona (*Peperomia* sp.), anturios (*Anthurium* spp); arbustos como saúcos (*Sambucus nigra*), chilcas (*Baccharis* sp.) y árboles retorcidos muy ramificados como: romerillo (*Podocarpus* sp.), cedro (*Cedrela montana*), platuquero (*Styloceras laurifolia*), matache (*Weinmannia* sp.), motilón (*Hyeronima alchomoide*), manzano (*Rhannus* sp.) (Desarrollo Forestal Campesino, 1997) y especies arbóreas pertenecientes a las familias: Lauraceae, Melastomataceae, Euphorbiaceae, Rubiaceae y Podocarpaceae que fueron encontradas en la estación experimental de San Francisco (Kiss y Bräuning, 2008).



En la reserva del bosque nublado de San Francisco ubicada en el sur ecuatoriano, se encuentra una fauna muy variada distinguida por una gran diversidad de lagartijas, ranas (6 especies) (Chiriboga, 2007). Tirira y Boada (2009) ejecutaron un proyecto en bosques de ceja andina de la provincia de Carchi demostrando la presencia de alta diversidad de mamíferos, constituido por el grupo de los roedores con 10 especies (33,3%), los murciélagos (23,3%) y carnívoros con 6 especies (20%), mientras que en el sur ecuatoriano se han identificado mamíferos (grandes y pequeños) como: osos de anteojos (*Tremarctos ornatos*), puma (*Felis concolor*), dantas (*Tapirus spp*); la comunidad de aves es grande y compleja ya que se han registrado más de 320 especies, muchas endémicas y otras migratorias, por ejemplo: el colibrí pico espada (*Colacintillo coliverde*), tangara (*Tangara cariflama*), pava de monte y pava ala de Oz (Chiriboga, 2007).

4.2.3. Calidad de Aire y Captura de carbono

Percy et al. (2003) señalan que los bosques a nivel mundial son capaces de captar la tercera parte de emisiones de CO₂ causadas por actividades antrópicas. El dióxido de carbono captado es almacenado en la biomasa vegetal casi en un 50% (dependiendo de la especie) proceso que se da por la fotosíntesis y respiración vegetal. En el suelo el carbono representa el 36% del total de carbono acumulado a 100 cm de profundidad (formando parte de la materia orgánica), el cual dobla en cantidad al carbono que se encuentra en la atmósfera. Los suelos de ecosistemas forestales contiene más carbono por unidad de superficie que cualquier otro tipo de uso de tierra, generalmente en bosques naturales el carbono del suelo está en equilibrio, pero este sistema se ve alterado a causa de la deforestación (Percy et al., 2003). En condiciones naturales el carbono orgánico del suelo resulta del balance entre la incorporación al suelo del material orgánico fresco y la salida de carbono del suelo en forma de CO₂ a la atmósfera (Swift, 2001) cuando los suelos presentan condiciones aeróbicas, una parte importante del carbono que ingresa al suelo es lábil y se mineraliza rápidamente y una pequeña fracción se acumula como humus estable. FAO



(2005) estimó que a mediados de 1990 el carbono almacenado bajo bosques nativos fue de 86 toneladas por hectárea, representada por biomasa y madera muerta proveniente de la vegetación.

4.3. Deforestación en el Ecuador

Estudios realizados por Bräulete (2012) con apoyo de CLIRSEN (2003) sobre las causas y consecuencias de la deforestación señalan que este país cuenta con una biodiversidad extraordinaria, sin embargo se caracteriza por presentar tasas altas de deforestación 1,5 - 1,7% equivalente a 198092 ha/año, en las cuencas interandinas la vegetación nativa ha sido prácticamente eliminada desde la época colonial y remplazada por cultivos, pastos y plantaciones exóticas (pino y eucalipto). La conversión de bosques a pastos o cultivos deja a estos ecosistemas reducidos a pequeños remanentes localizados en lugares inaccesibles, en los últimos años debido a la presión demográfica, la destrucción del bosque andino ha sido más acelerada, ocasionando casi su desaparición, se calcula por lo menos el 97% de bosques andinos del Ecuador han desaparecido (CESA, 1992).

El Ministerio del Ambiente (2012) menciona que la deforestación provoca un daño en el ecosistema ya que altera los suministros de agua y calidad de suelo por diferentes usos, hechos que impulsan a que las instituciones gubernamentales elaboren proyectos para el uso adecuado de recursos naturales. El MAE (2012) realizó un análisis comparativo de deforestación cubriendo el 86% de la superficie del Ecuador, este estudio indica que en el año 1990 la cobertura natural fue aproximadamente del 62% del territorio nacional de los cuales 12 millones de hectáreas corresponden a bosques nativos y 14 millones de hectáreas son áreas de páramo, 10 años después (2000) se presentó una disminución de 1 millón de hectáreas de vegetación natural, es decir la cobertura natural representó un 58% del territorio nacional (11 millones de hectáreas de bosque nativo), siguiendo una secuencia de toma de datos en el 2008 la cobertura natural representó el 57% del territorio ecuatoriano, con este análisis se demostró que la tasa de



deforestación en el periodo 1990 – 2000 fue del 0,71% que corresponde a 89944 ha/año, mientras que para el periodo 2000 – 2008 se redujo al 0,66% correspondiendo a 77647 ha/año, concluyeron que en el primer periodo (1990 – 2000) se presentó la tasa más alta de deforestación (Ministerio del Ambiente, 2012).

4.3.1. Causas de la deforestación

a) Expansión la frontera agrícola y ganadera

Sin duda el factor principal causante de la deforestación es el aumento de actividades agrícolas y ganaderas con el objetivo de abrir espacios nuevos para la agricultura por parte de pequeños agricultores o personas de bajos recursos económicos. La cría de ganado ha provocado un asentamiento dentro de bosques los cuales son talados y convertidos en parcelas para utilizarlas como fuente indirecta de ingresos económicos. Sin embargo este tipo de prácticas degradan rápidamente el suelo y el agricultor se ve forzado a talar otra porción de bosque para transformarlo en zonas de cultivos, posteriormente el área que ya no se puede cultivar es utilizada como zona ganadera lo que termina por alterar y destruir completamente propiedades del suelo. Según Wunder (2000) en el periodo de 1972 - 1985 las áreas montañosas han disminuido notablemente como consecuencia del aumento de pastizales resultando en degradación del suelo y en disminución de precios de productos agrícolas.

b) Relación entre la deforestación de bosque de neblina montano y el crecimiento demográfico.

La deforestación puede contribuir al crecimiento económico a corto plazo y al alivio de la pobreza, pero con frecuencia a costa del deterioro ambiental y social (Ministerio de Ambiente, 2006). Este mal manejo de recursos naturales se debe a la pobreza de países de tercer mundo (donde se hallan la mayoría de los bosques y selvas) que necesitan explotar estos



ecosistemas para obtener recursos y establecer nuevas urbanizaciones o construcción de infraestructura (carreteras, vías férreas, tendidos eléctricos); también actividades mineras, producción de energía hidroeléctrica y la explotación de petróleo dan lugar a la destrucción indiscriminada de la naturaleza (Muñoz, 2009).

c) Extracción de productos forestales

El aprovechamiento de los bosques es una actividad de subsistencia muy antigua ya que las poblaciones se dedicaban a obtener múltiples beneficios como: extracción de leña y carbón, de aceites y plantas medicinales; recalando también el aumento de zonas ganaderas, agrícolas y urbanizaciones; este conjunto de actividades son causantes del aumento de sitios deforestados o degradados y al mismo tiempo son formas de sustento de los habitantes que buscan satisfacer necesidades. La presión ejercida sobre ecosistemas nativos se agravó con la primera industrialización y sobreexplotación que resultaron en una drástica reducción de superficie forestal en todo el mundo, actualmente solo una cuarta parte del globo terrestre está cubierto por áreas de bosque nativo (Ovalles, 2011).

4.3.2. Efectos de la deforestación

a) Efectos de la deforestación en propiedades físicas del suelo

Un artículo elaborado por Lal (1996) menciona que las propiedades físicas del suelo conservado bajo bosque mantienen características favorables comparadas con las encontradas en suelos destinados para pastoreo. Ochoa et al. (2008) señalan que en la subcuenca del río Zamora Huayco en Loja las propiedades físicas del suelo bajo pasto están alteradas debido al pisoteo diario e intensivo por parte del ganado lo que provoca la reducción de la cantidad de poros, compactación y un aumento en densidad aparente, influyendo en la disminución de los valores de conductividad hidráulica (infiltración) y capacidad de retención de agua, lo que coincide con la



investigación de Vera y López (1995) en los Andes de Mérida en los que se observó un aumento de la densidad en un 13 y 58% en suelos bajo pasto con respecto a bosque.

La labranza generalmente se realiza al establecer pastizales y al inicio de cada ciclo de cultivo, Aguirre et al. (2010) indican que esta actividad provoca la destrucción de los aglomerados del suelo (degradación de la estructura) que consecuentemente produce compactación de los horizontes superficiales, descendiendo la cantidad de macroporos y la permeabilidad del suelo, también la alteración confirma que las propiedades físicas como el movimiento normal del agua en el interior del suelo se encuentran relacionadas básicamente con la eliminación de la capa orgánica. Además la labranza y preparación del suelo también producen desequilibrio entre la transición y almacenamiento de agua en suelos de regiones andinas (Herrera et al., 1991), concordando con un estudio realizado por Flores et al. (2010) en bosques andinos, quienes mencionan que las propiedades del suelo son afectadas por el cambio de uso principalmente en la capa superficial ya que el espacio poroso disminuye, favoreciendo la escorrentía y arrastre de partículas. El grado de escorrentía y evaporación se eleva por la conversión de bosque de neblina montano a pasto o cultivos, dando como resultado la disminución en la intercepción de lluvias y aumento de la transpiración (Ataroff y Rada, 2000).

Comúnmente al sustituirse una cobertura forestal nativa por pastos y cultivos el régimen hidrológico de las cuencas de alta montaña se ve afectado, debido a cambios en las propiedades hidrofísicas del suelo, como: la infiltración y capacidad de retención de agua (Turner et al., 1996), dirección y magnitud de los flujos hacia ríos o quebradas resultando en la erosión, deslizamientos, inundaciones, contaminación, degradación del régimen hidrológico y escasez de agua; como ya se mencionó los bosques andinos se encuentran en pendientes considerables lo que los hace más vulnerables a la erosión al darse un cambio drástico en su cobertura (Stadmüller, 1987).



Porta et al. (1994) sostienen que la deforestación altera el equilibrio natural ya que la superficie del suelo queda desprotegida, el epipedón recibe menos cantidad de materia orgánica por parte de las plantas y el laboreo provoca una mineralización más acentuada, la capa orgánica en bosques cumple funciones como: prevenir el desecamiento y contracción al retener agua hasta 20 veces su peso, estabilizar la estructura al cementar las partículas del suelo mejorando la capacidad permeable del mismo, en otro aspecto participan en la formación de complejos estables con Cu, Mn, Zn y otros cationes polivalentes mejorando la disponibilidad de los mismo para las plantas.

La principal forma de deforestar es la tala de árboles y quema de los mismos, al producirse incendios se origina en el suelo una capa hidrófoba que se produce a partir de la aparición de una sustancia que proviene de los restos de una planta quemada, dicha sustancia cerosa penetra y cubre las partículas originando una repelencia contra el agua y una lenta capacidad de infiltración (USDA, 2000). Con la simple exposición directa del suelo a los rayos solares se produce la desecación de las partículas por problemas de hidrofobicidad (capas endurecidas) reflejándose en la pérdida de la capacidad de retención de agua, la cual puede alcanzar hasta un 40% (Buytaert et al., 2002).

b) Efectos de la deforestación en las propiedades químicas del suelo

Hamer et al. (2013) realizaron un estudio en suelos bajo bosques montanos al sur del Ecuador en donde determinaron que la deforestación origina un incremento momentáneo de CO, NT, P y S en la capa superior del suelo y a la vez un aumento en la masa microbial debido a la disponibilidad de nutrientes, la proporción de C:N y el pH también incrementan, los autores mencionan que hay un aumento en la extracción de fósforo lo que está relacionado directamente con la edad del pastizal llegando a la conclusión



de que el suelo al ser degradado presenta un agotamiento de nutrientes, sin duda uno de los efectos negativos del cambio de uso de suelo en zonas de alta pendiente son los derrumbes que provocan concentraciones de nutrientes en la partes bajas, además el cambio de cobertura resulta en la disminución de la fertilidad natural de la capa superficial del suelo (Wilcke et al., 2003).

Después de la conversión de bosque a cultivo se pierde un 28% del carbono del suelo, mientras que en pastizales se da una disminución de un 12% aproximadamente (Don et al., 2011), a esto se suma un análisis realizado en el área de la estación científica San Francisco por Hamer et al. (2013) pues encontraron que hubo una pérdida del 18% de $\text{CO}_2\text{-C}$ por año en suelos sometidos a pastoreo en comparación con bosque, de igual forma un estudio de Potthast et al. (2011) en los bosques del sur de Ecuador explican que la pérdida anual de carbono del suelo es de 2 mg/ha debido al establecimiento de pastizales y 12,2 mg/ha en suelos con pastoreo intensivo.

En cuencas sin vegetación y con uso agrícola-ganadero se ha encontrado una exportación tanto de fósforo como de nitrógeno total mucho mayor que en cuencas cubiertas por bosques nativos (Oyarzún et al., 1997), es necesario recalcar que aproximadamente el 99% de nitrógeno del suelo se encuentra en la capa orgánica (Thompson y Troeh 1988), por lo que el descenso de nitrógeno total será en función de la materia orgánica. Por la ambición de crear más zonas agrícolas los incendios son formas fáciles de destruir los bosques originando elevadas temperaturas que influyen indirectamente sobre los ciclos de nutrientes, afectando considerablemente a la actividad biológica del suelo (Hamman, 2008). La quema de bosques causan el incremento de contenido de nutrientes debido al depósito de cenizas de la materia orgánica ocasionando efectos negativos sobre las propiedades del suelo ya que los elementos incorporados son trasladados por el agua con facilidad o son lixiviados a horizontes subsuperficiales, también existe pérdida de materia orgánica lo que reduce la capacidad del suelo para retener nutrientes. (Birch, 1964 y Jenkinson, 1966), se dice



también que la aportación de materiales resultantes de la quema, deforestación o de cultivos conlleva al deterioro de la fertilidad del suelo impidiendo la posibilidad de regeneración (Zech et al., 1999).

Montagnini et al. (1992) enfatizan la importancia de áreas forestales en la estabilidad de parámetros químicos, como: capacidad de intercambio catiónico observándose un descenso de hasta un 30% en suelos de pasto con respecto a suelos de bosque, también se ve afectada la disponibilidad de N a largo plazo pero es importante indicar que el nitrógeno incrementa y la acidez incrementa después del cambio de uso de suelo debido a la aportación del 60 y 90% de nitrógeno a través de la orina y del estiércol del ganado (Di y Cameron, 2004), aumentando el transporte de nitratos a través de la escorrentía superficial (López, 2002); por otra parte se ven alterados niveles de fósforo, potasio, captura y retención de carbono, la erosión resulta en la pérdida de fracciones finas y de nutrientes provocando finalmente la movilización relevante de nutrientes (Sharpley, 1985), recordemos que una biomasa nativa y densa que cubra al suelo reduce la velocidad de escurrimiento y disminuye la pérdida de sedimentos (Meyer et al., 1995).

Por lo general una de las actividades agrícolas es la aplicación de fertilizantes (urea) lo que promueve la rápida mineralización de la materia orgánica del suelo, esto se correlaciona positivamente con el aumento de nitratos y amonio (Hamer et al., 2009). El cambio de cobertura y actividades antrópicas activan proceso de oxidación originando descensos en el contenido de nitrógeno y en la relación de N: NH_4 en comparación a coberturas naturales, de igual manera el pH disminuye lo que está ligado al incremento de Al y Fe alcanzando niveles tóxicos lo que se refleja en la reducción de contenido de bases (Quichimbo et al., 2012).

c) Efectos en la economía

La degradación de las cuencas por la erosión del suelo y tasas altas de sedimentación podríamos nombrar a la hidroeléctrica Paute cuya vida útil y

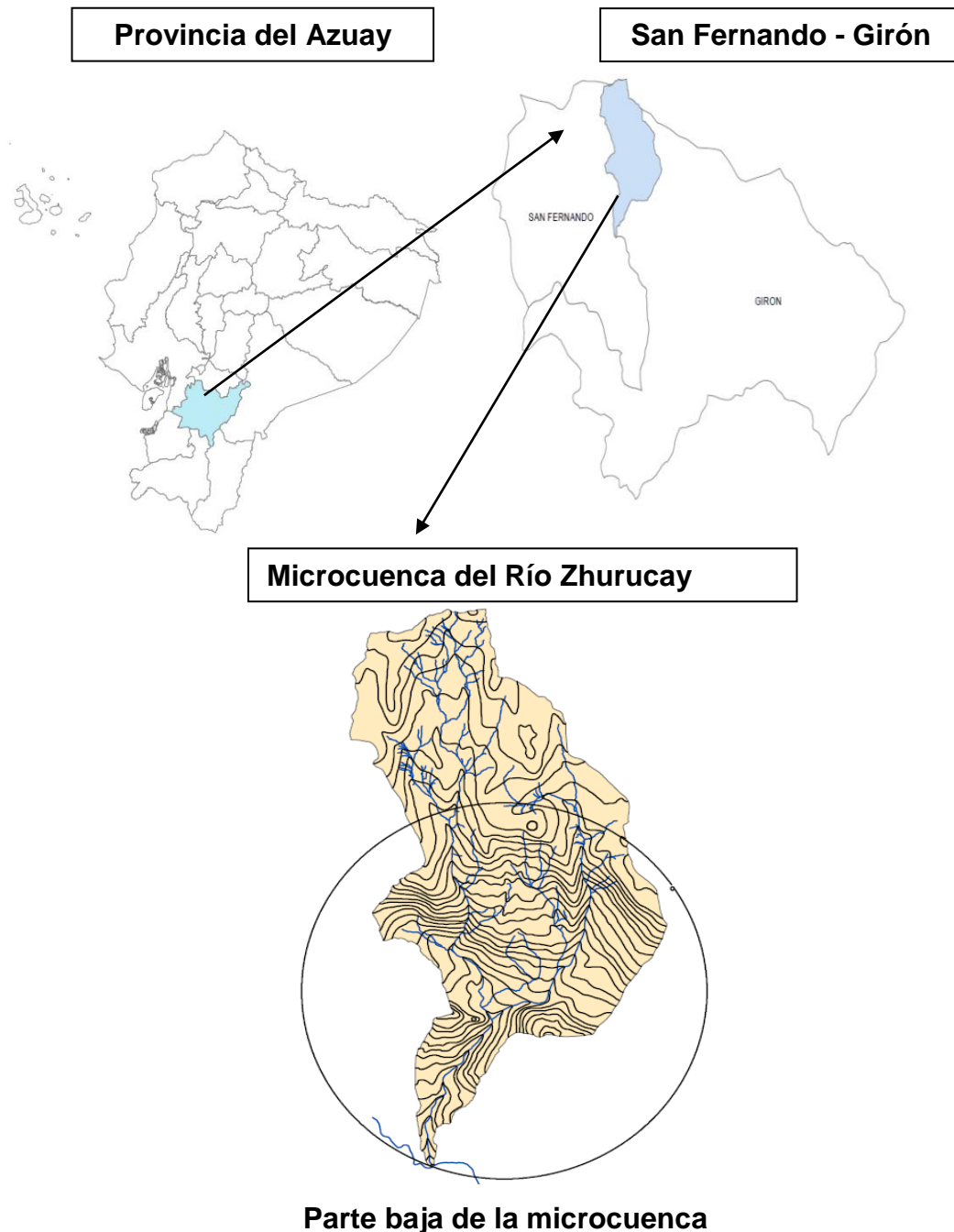


capacidad se ha reducido a la mitad a causa de la acumulación de sedimentos como resultado de la degradación de las cuencas, la desertificación e inundaciones han resultado en numerosos desastres como: deslaves o inundaciones que han influenciado en la pérdida de tierras, daños a las vías de acceso y zonas cultivadas, además de esto en los últimos 30 años la variación del clima representada por intensos inviernos y extremas sequías han causado incertidumbre en agricultores respecto a épocas de siembra; problemáticas de esta magnitud afectan directamente a la economía del país (Farfán, 2001).

Estudios realizados por Allen y Barnes (2008) señalan que se puede producir un grave impacto en la economía de los lugares con altos porcentajes de deforestación, mencionando la aparición de problemáticas como: el incremento de los precios o escasez de combustibles (petróleo y carbón vegetal), recientes estimaciones de la tasa de deforestación en países de Latino América, Asia y África demuestran que en los años de 1968 a 1978 han disminuido las zonas de extracción de madera dentro bosques de niebla y bosques tropicales; aportando también que en algunos países en vías de desarrollo la principal causa de la existencia de zonas deforestadas son: el crecimiento de la población, la expansión de la agricultura y el uso indiscriminado de la madera en la producción de combustibles para su exportación.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Área de estudio



Parte baja de la microcuenca

Figura 1. Ubicación del área de estudio a nivel nacional
(Fuente: Merecí y Suqui, 2013)



5.1.1. Descripción del área de estudio.

El área de estudio está ubicada en la República de Ecuador, Provincia del Azuay, en las jurisdicciones de los cantones: Girón y San Fernando, en las parroquias: San Gerardo y Chumblín, la microcuenca del río Zhurucay, se ubica a 85 km al sur oeste de la ciudad de Cuenca, con las siguientes coordenadas UTM: X 694 644 m - 698 164 m. Y 9662 482 m - 9660 680 m. Con una superficie aproximada de 26,10 Km² y rango altitudinal de la cuenca está comprendido desde 2400 hasta los 3900 m s.n.m. El estudio se realizó en la parte baja de la microcuenca que va desde los 2400 m s.n.m. a 3400 m s.n.m. (**Figura 1**) que según el sistema de clasificación de vegetación de Sierra (1999) pertenece a bosque de neblina montano, en esta parte de la cordillera resulta difícil separar el bosque de neblina del bosque montano alto y la Ceja Andina debido a que la cordillera es muy baja.

La topografía de estas zonas es generalmente montañosa a escarpada caracterizándose por presentar una temperatura anual promedio de 9,1 °C alcanzando hasta 17°C valores registrados en los dos últimos años, presentando una precipitación que oscila entre los 1046 a 1129 mm/año (**Figura 2**) (DRHA, 2013). El uso de suelo de la parte baja de la microcuenca corresponde a bosque de neblina montano ubicado en pendientes considerables que van de 3 - 65%, encontrándose también pequeñas áreas de cultivo, pasto natural sin ningún tipo de manejo y pasto manejado, esta cobertura abarca alrededor del 80% del territorio de la microcuenca debido a que un 85% de la población de esta zona considera a la ganadería como principal medio de sustentabilidad (Consorcio del río Jubones, 2011).

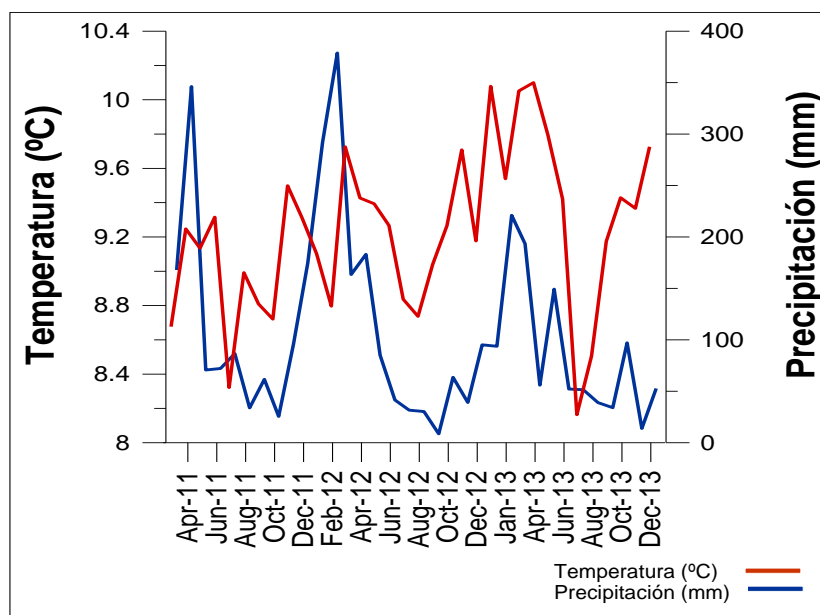


Figura 2. Precipitación y temperatura registrada en los años 2011-2013 en el área de estudio

(Fuente: DRHCA, 2014)

5.1.2. Vegetación

Según información obtenida del Consorcio del río Jubones (2011) se indica que el uso actual de la microcuenca está predominando pastizales en un 80% ya que un 70% de la población se dedica a la ganadería, y alrededor de un 15% se destina a la agricultura principalmente para cultivo de maíz asociado con fréjol, arveja, habas, cebada, trigo, papas y pequeños huertos de hortalizas que sirven en un 97% para el auto consumo de las familias, mientras que un 5% corresponde a bosque de neblina montano. La flora característica pertenece a: *Aphelandra acanthifolia*, *A. chrisantha* (Acanthaceae); *Saurauia lehmannii* (Actinidiaceae); *Bomarea cornuta*, *B. setacea* y *B. sp.* (Amaryllidaceae); *Mauria simplicifolia* (Anacardiaceae); *Anthurium lennarti*, *A. marginatum*, *A. sp.* (Araceae); *Oreopanax eriocephalus*, *O. sessiliflorum* y *O. spp.*, *Schefflera sp.* (Araliaceae). En los límites altitudinales bajos aparecen *Aiphanes grandis*, *Ceroxylon alpinum* (Arecaceae); *Gynoxys jaramilloi*, *Verbesina pentantha* (Asteraceae); *Begonia tropaeolifoeium* y *B. sp.* (Begoniaceae); *Brunellia ovalifolia* (Brunelliaceae); *Siphocampylus humboldtianus*, *Centropogon sp.* (Campanulaceae); *Carica*



omnilingua (Caricaceae); *Weinmannia* sp. (Cunoniaceae); *Cyathea* sp. (Cyatheaceae); *Bejaria resinosa*, *Psammisia ecuadorensis* (Ericaceae); *Columnea eubractea* (Gesneriaceae); *Gunnera* spp. (Gunneraceae); *Persea subcordata*, *Ocotea smithiana* (Lauraceae); *Brachyotum* sp., *Miconia capitellata*, *M. rivetii* y *M. sp.*, *Tibouchina oreensis*, *T. martiniana* (Melastomataceae); *Ruagea microphylla* (Meliaceae); *Fuchsia* sp. (Onagraceae); *Epidendrum* sp., *Lepanthes grossiradix* y *L. sp.* *Pleurothallis trissa*, *P. obovatum*, *Stelis nutans* y *S. sp.* (Orchidaceae); *Lupinus* sp. (Fabaceae); *Passiflora sprucei* (Passifloraceae); *Piper zarumanum* y *P. sp.*, *Peperomia* sp. (Piperaceae); *Chusquea* sp. (Poaceae); *Oreocallis grandiflora* (Proteaceae); *Rubus adenothallus* (Rosaceae). En la parte más alta: *Hypericum laricifolium* (Hypericaceae); *Brachyotum* sp., *Miconia* sp. (Melastomataceae) (Sierra, 1999).

5.1.3. Geología

En el área de estudio se presentan las siguientes formaciones geológicas:

a) Formación Quimsacocha (Mioceno tardío): Comprende lavas andesíticas comúnmente con foliación de flujo y brechas tobáceas de composición andesítica. Esta formación ocurre alrededor de la caldera de Quimsacocha, y es interpretada como productos proximales del estrato volcán de Quimsacocha. El espesor mínimo es de 160 m. Esta formación no es reconocida por Hungerbuhler y la mapean como Formación Tarqui (Pratt et al., 1997).

b) Formación Turi: Designado por Erazo (1957) como un complejo estratificado de conglomerados, cenizas y brechas volcánicas con intercalaciones de arcillas y areniscas fluviales, que asoman bien expuestas en las inmediaciones de Turi y se extienden hacia el Sur oeste. Erazo hizo dos perfiles en la formación y calculó un espesor de 280 m en la localidad tipo. Un trabajo posterior en las hojas geológicas de Cañar (1975), Azogues (1974), Gualaceo (1974) y Girón (1974) ha demostrado que la formación es mucho más extensa y se extiende desde Suscal, al Noroeste de Cañar a lo



largo del flanco occidental de la cuenca hasta un punto de 9 km al Sureste de Girón. En la parte central de la Cuenca los sedimentos, especialmente limos y limolitas blancas o habanas, predominan.

c) Formación Tarqui (Mioceno tardío): Comprende principalmente tobas de composición riolítica, pobremente consolidadas con eventos de caída de ceniza, junto a conglomerados, areniscas y limolitas ricas en cuarzo. Fue mapeada sólo a lo largo de Saraguro y en el flanco este de la caldera de Quimsacocha (Pratt et al., 1997). Según el esquema estratigráfico de Steinmann (1997) y Hungerbuhler (1997), esta formación incluye a algunos depósitos volcánicos que por rasgos litológicos comunes y por edades pueden ser clasificadas como miembros de la Formación Tarqui.

5.1.4. Suelos

La zona de estudio presentó suelos que se caracterizan por exhibir un horizonte superficial cuya profundidad varía de 20 cm a 80 cm, con colores Munsell con croma de 3 a 1 en húmedo, textura franco arcillosa, estructura migajón a granular, los contenidos de materia orgánica en estos horizontes son altos de 5% alcanzando valores de 30% como máximo, la saturación de bases es superior al 50% logrando contener hasta un 80%, características que corresponden a un horizonte de diagnóstico mólico de acuerdo a WRB (2007). En ciertos sitios se encontró un horizonte B dentro del perfil los cuales presentaron un espesor de 20 a 95 cm, color con croma 4 a 1, textura arcillosa a franco arcillo arenosa, contenidos de materia orgánica que varían de 1% a 10%, estructura bloques subangulares, porcentajes de saturación de bases alta mayor a 50%, mientras que el horizonte C presentó un espesor alrededor de 80 cm, color de 2,5 Y, textura franco arenosa, materia orgánica menor a 1%, y alto contenido de saturación de bases mayor a 50%. Las propiedades descritas corresponden a un Phaeozem de acuerdo a la WRB (2007), que se identifican principalmente por presentar un porcentaje mayor a 50% en todo el perfil, que puede ser ABC o AC, con valores pH de 5 a 7.

Otro horizonte de diagnóstico posible de encontrar es el horizonte úmbrico el mismo que presenta características similares que el horizonte mólico, es decir profundidades mayores a 20 cm, colores Munsell con croma de 3 a 1 en húmedo, estructura granular, con 1% hasta 30% de materia orgánica, pero se diferencia del mismo por que el contenido de saturación de bases es menor a 50% (WRB, 2007), permitiendo identificar a los Umbrisoles según la WRB (2007) los mismos que son suelos oscuros, con perfil AC o R - ABC, ricos en materia orgánica, con pH menor de 5,5 aproximadamente razón por la que presentan porcentajes de saturación de base bajos.

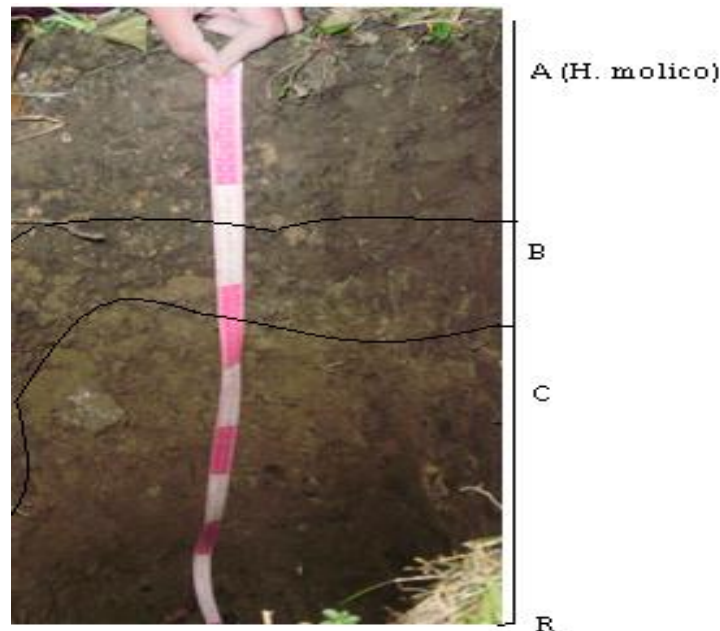


Figura 3. Perfil de un Phaeozem
(Merecí y Suqui, 2013)

5.2. Identificación de los sitios de estudio dentro de la microcuenca del río Zhurucay

En la parte baja de la microcuenca del río Zhurucay, se escogió 4 coberturas diferentes que corresponden a: bosque de neblina montano, pasto con manejo, pasto sin manejo y cultivos (**Figura 4**), se seleccionó 7 repeticiones por cada tipo de vegetación mediante muestreo dirigido tomando en cuenta aspectos como: disponibilidad de unidades elementales (zonas de estudio),

características similares de topografía o relieve, posición fisiográfica y rango altitudinal para poder determinar las diferencias entre los sitios de bosque de neblina montano (testigo) y los sitios con otro tipo de uso de suelo (tratamientos). Al realizarse 7 repeticiones por cada cobertura (4) se obtuvo un total de 28 sitios (**Figura 5**) en los que levantó información de parámetros físicos en fichas de campo (**ANEXO 1 y 2**) y químicos, estas zonas de estudio presentaron las siguientes coberturas:



a) bosque de neblina montano



b) pasto sin manejo



c) pasto con manejo



d) cultivo

Figura 4. Tipos de cobertura seleccionadas para el estudio
(Fuente: Merecí y Suqui, 2012)

1) Bosque de neblina montano

Estos ecosistemas naturales se encontraron en un rango altitudinal de 2922 m a 3130 m s.n.m caracterizadas por presentar pendientes pronunciadas (3 - 65%), así mismo se observó una alta diversidad de especies arbóreas endémicas representadas por las familias: Orchidaceae, Solanaceae,



Asteraceae, Ericaceae y Lamiaceae, Melastomataceae, Myrsinaceae, Passifloraceae, Podocarpaceae y Piperaceae; presentando también una densidad de 2 – 5 m entre árbol y árbol los mismos que presentan una altura aproximada de 15 – 20 m con cantidades considerables de musgos hecho que podría favorecer a mantener una humedad constante y un microclima marcado, de la misma manera en este hábitat se encuentra una numerosa variedad de aves, mamíferos, reptiles, anfibios, etc. Estas áreas se encuentran en continua amenaza debido a la necesidad de las personas de incrementar áreas agropecuarias.

2) Pasto sin manejo

Pertenecen a áreas que después del proceso de deforestación han sido sometidas a pastoreo, en donde un pasto natural o kikuyo (*Penisetum clandestinum*) ha crecido y se ha expandido de forma espontánea, están zonas se encuentran en altitudes que oscilan los 2955 m y los 3235 m s.n.m., presentaron pendientes de 5 - 60% después del cambio de uso de suelo estas zonas fueron destinadas a la ganadería, siendo el peso de una vaca adulta 350-400kg, en estas zonas es muy común el pastoreo extensivo, es decir, que toda la finca es un solo potrero el cual no tiene descanso, pero esto se compensa con la muy baja carga animal (1 cabeza/ha). En esta cobertura no se realiza ninguna práctica de mejoramiento como: fertilización, sistemas de riego o uso de semillas de pastos mejorados, simplemente la aportación directa de orina y estiércol por parte de los animales, y la captación de agua proveniente de precipitaciones.

3) Pasto con manejo

Estas áreas se ubicaron entre los 2696 m a 3317 m s.n.m., con pendientes del 5 al 52%, las mismas han sido deforestadas para ser destinadas al pastoreo presentando la siguiente vegetación: kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), pasto azul (*Dactylis glomerata*), raygrass inglés (*Lolium perenne*) e italiano (*Lolium multiflorum*) en combinación con ciertas



leguminosas como el trébol blanco (*Trifolium repens*), la mayoría de pobladores realizan una mezcla de 45% de raygrass perenne, 27% de raygrass anual, 9% de pasto azul, 18% de trébol blanco, esta cobertura lindera con zonas de bosques nativos por lo que es evidente el cambio de uso de suelo, en pasto con manejo se realizan las siguientes actividades: rotación del ganado cada 50 días, pastoreo durante periodos cortos y prácticas de manejo tales como: fertilización con 800 sacos de gallinaza o pollinaza/ hectárea, riego por aspersión como también por inundación, el conjunto de las actividades mencionadas tienen el objetivo de proporcionar mayor producción, es necesario mencionar que el uso de maquinaria pesada (arado de disco) es un factor importante en el establecimiento de esta cobertura y posiblemente uno de los causantes en las diferencias encontradas con respecto a suelos bajo bosque.

4) Cultivos

Estas áreas estaban en rangos de altitud entre los 2922 a 3323 m s.n.m. y en pendientes comprendidas entre un 2 a 50%, son zonas destinadas a la producción agrícola con fines de consumo familiar, para la transformación es zonas de cultivo la población procede a la quema, tala de árboles, labranza mínima del suelo lo cual es posible que no cause un efecto relevante en horizontes subsuperficiales, de igual forma se realiza la siembra de especies agrícolas (frutales, hortalizas, plantas ornamentales, medicinales), aplicación de fertilizantes químicos (urea) u orgánicos (gallinaza o abono de cuy), uso de sistemas de riego, rotación o asociación de cultivos, control de malezas, manejo de plagas y enfermedades, una de la unidades experimentales de esta cobertura presentó un periodo de 11 años de transformación como también existen zonas en las que se pudo deducir un reciente cambio de cobertura ya que se observó remanentes de bosque y residuos de materia orgánica de vegetación forestal.

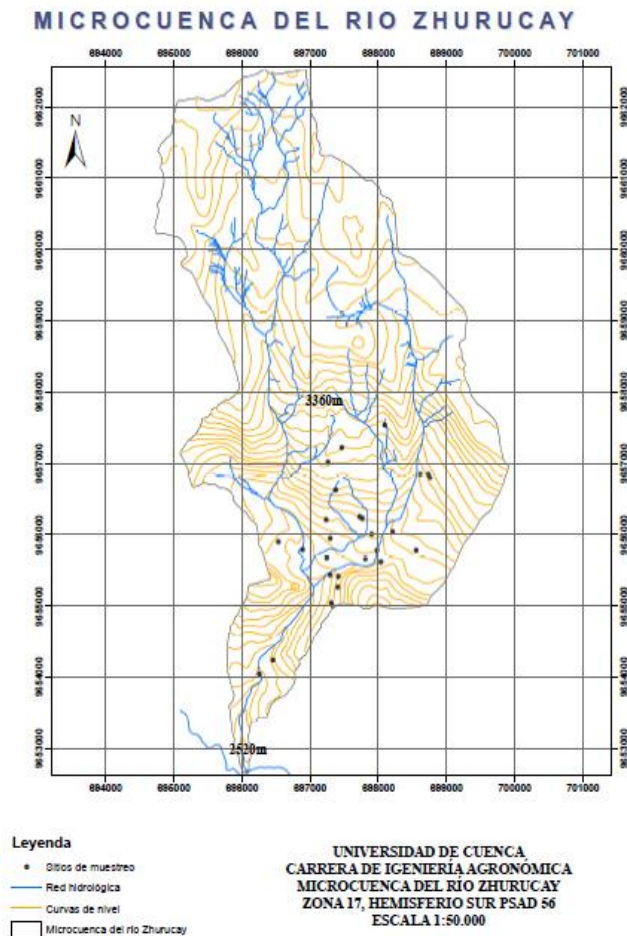


Figura 5. Sitios de muestreo en la microcuenca del río Zhurucay
(Fuente: Merecí y Suqui, 2014)

5.3. Análisis estadístico para la identificación del impacto de la deforestación sobre las propiedades físico-químicas del suelo

Los datos de propiedades físicas y químicas de los 47 horizontes bajo las diferentes coberturas fueron clasificados de acuerdo al tipo de horizonte: horizontes superficiales O, A (epipedones) y horizontes subsuperficiales AB, B, BC, C (endopedones) con el fin de reconocer de manera más clara los cambios producidos por la deforestación en las zonas estudiadas. Para el análisis estadístico se utilizó el software Statistica 7, en el que se realizó gráficos de caja o box plot para observar la distribución de datos de cada variable permitiendo reconocer valores atípicos. Se llevó a cabo el test de Shapiro-Wilks para contrastar la normalidad de los datos, los cuales



resultaron ser no normales (**ANEXO 5 y 6**) y debido al tamaño de la muestra fue pertinente el uso de pruebas no paramétricas como U Mann-Whitney con un nivel de significancia del 25% para analizar muestras independientes (**Tabla 1**), es necesario señalar que esta prueba no paramétrica fue realizada al 5% pero en vista de que no se encontraron diferencias significativas se decidió ampliar el rango al 25%, tomando como referencia el estudio en suelos realizado por Cárdenas (2013). Esto permitió identificar el grado de alteración entre variables físico-químicas de los suelos bajo cobertura no intervenida (bosque de neblina montano) con las propiedades de suelos bajo zonas deforestados pertenecientes a: pasto sin manejo, pasto con manejo y cultivos.

Tabla 1. Rangos de significancia de la prueba de U Mann-Whitney

Rangos de Significancia	
0 – 0,05	MUY SIGNIFICATIVO
0,050 – 0,150	SIGNIFICATIVO
0,150 – 0,250	POCO SIGNIFICATIVO
> 0,250	NO SIGNIFICATIVO

(Fuente: Merecí y Suqui, 2013)

Posteriormente se efectuó análisis de correlación de Spearman (**ANEXO 7 y 8**) para determinar el nivel de asociación entre las distintas variables físicas y químicas de los horizontes superficiales y subsuperficiales del suelo. Finalmente se desarrolló un análisis discriminante en el software Xlstat 2012 con el que se clasificó las observaciones en función de su probabilidad de pertenecer a uno u otro grupo medido por el nivel de similitud o de distancia.

Las variables físicas escogidas para el análisis en epipedones y en endopedones fueron: cobertura vegetal, arena, limo, arcilla, Ksat, densidad aparente, pF 0, pF 0,5, pF 1,5, pF 2,3, pF 4,3 y pF 4,2 al mismo tiempo variables químicas como: pH, CE, MO, SB, NT, CIC, NH₄, NO₃, P, K, Ca, Mg, Mn, Al + H, Na, Cu, Fe, Zn, B, SO₄.



5.4. Determinación de propiedades físico-químicas de los suelos de la cuenca baja del río Zhurucay

5.4.1. Determinación de propiedades físicas

Las propiedades físicas se determinaron en campo y en laboratorio las que corresponden a: estructura, color, textura, densidad aparente, conductividad hidráulica saturada y capacidad de retención de agua (pF0; 0,5; 1,5; 2,3; 3,4; 4,2) las mismas que se describen a continuación:

5.4.1.1. Estructura

En cada sitio se realizó una calicata en la que se identificó el perfil con sus diferentes horizontes con la ayuda de la guía de la FAO (2009), en cada uno de ellos se determinó el tipo de estructura según la forma de agrupación de las partículas del suelo.

5.4.1.2. Color

Para la determinación del color del suelo se utilizó la tabla de colores de Munsell que fue comparada con la muestra de suelo, se procedió a determinar el matiz, el valor y el croma de cada horizonte, la FAO (2009) indica que los colores del suelo deben ser descritos en condiciones de humedad. El matiz se refiere al color dominante que pueden ser: R= rojo, A= amarillo, V= verde, B= azul, YR= rojo amarillento; el valor es la claridad u oscuridad del color con escala de 1 (oscuro) a 8 (claro) y el croma es la pureza o fuerza del color desde 1 (pálido) a 8 (brillante).

5.4.1.3. Textura

Para la determinación de la textura se tomó aproximadamente 30 g de muestra alterada y se utilizó el método de la cinta, el que consistió en coger un poco de muestra de suelo, humedecerla y amasarla con los dedos hasta formar una masa homogénea, luego se presionó la masa entre los dedos

índice y pulgar para formar poco a poco una cinta; luego se dispuso una pequeña cantidad de muestra en la palma de la mano, se saturó y mediante el tacto se identificó las diferentes partículas presentes en el suelo, estableciendo las distintas clases de textura de acuerdo a los parámetros señalados en la guía de la FAO (2009), también se identificó la textura mediante análisis de laboratorio realizado en AGROBIOLAB (Quito) por el método Bouyoucus con el uso del hidrómetro el cual se basa en la valoración de porcentajes de limo, arcilla y arena mediante la separación de partículas de acuerdo a su diámetro (Jaramillo, 2002).

5.4.1.4. Densidad aparente

Para la determinación de la densidad aparente se recolectó 2 muestras inalteradas (**Figura 6**) con anillos kopecky (100 cm³) por cada horizonte identificado de la parte representativa del perfil, este procedimiento se realizó con el uso del toma muestras el que se introdujo cuidadosamente en la mitad de cada horizonte golpeando con el martillo de goma para que la muestra no se mezcle con restos de suelo de otro horizonte.



Figura 6. Toma de muestras inalteradas con anillos kopecky
(Fuente: Merecí y Suqui, 2013).

Las muestras inalteradas fueron trasladadas al laboratorio de hidrofísica de suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias en donde se registró la fecha de ingreso al laboratorio y los códigos respectivos de cada muestra (**ANEXO 3**). Los anillos con muestra inalterada se colocaron en la estufa a 105 °C durante 24 horas, transcurrido este tiempo se pesó la muestra y el anillo, se obtuvo la densidad aparente mediante la siguiente fórmula:

$$D_a = \frac{(\text{peso seco de la muestra} + \text{anillo}) - (\text{peso del anillo})}{\text{Volumen del anillo}}$$

5.4.1.5. Conductividad hidráulica saturada

La conductividad hidráulica saturada se determinó in situ por el método de pozo invertido (**Figura 7**) que según Coello et al. (2007) consiste en tomar lecturas de desnivel de agua en función del tiempo, si el suelo está saturado el gradiente hidráulico puede ser igual a la unidad. Este método permite tomar datos directamente en el campo y es fácil de ejecutarse bajo condiciones adversas como pendientes pronunciadas.

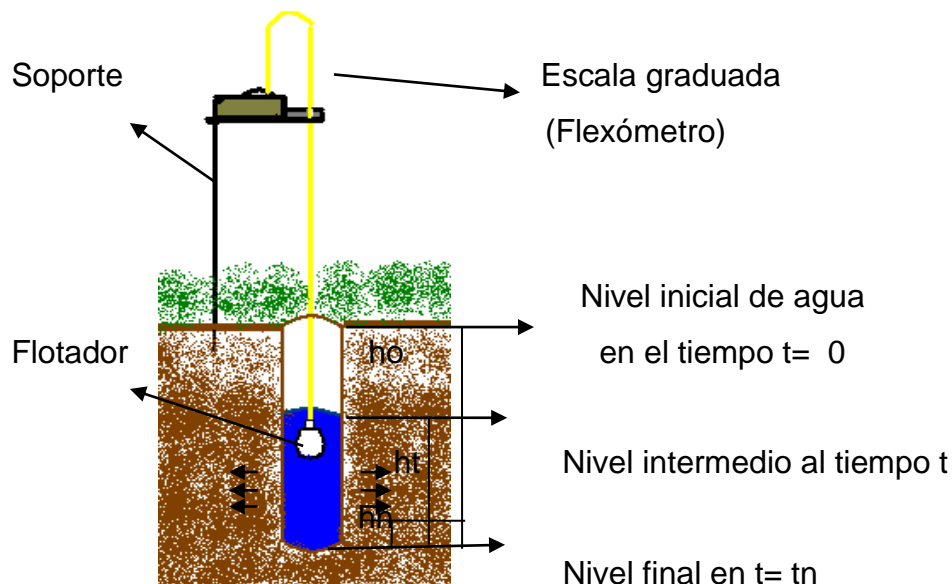


Figura 7. Esquema del método de pozo invertido

(Fuente: Merecí y Suqui, 2013)

En cada sitio fueron efectuadas 3 repeticiones por cada horizonte identificado, en los que se llevó a cabo la prueba de pozo invertido, en primer lugar se realizó barrenaciones a la mitad del horizonte dependiendo del tamaño del mismo, después se colocó agua en los agujeros hasta que alcanzaron un nivel de saturación total, el siguiente paso fue ubicar las estructuras metálicas con los flotadores en cada repetición, consecuentemente se levantó información sobre el descenso de agua dentro del agujero cada cierto tiempo, esta propiedad se relacionó con la velocidad

de infiltración del agua en el suelo. La prueba finalizó cuando se obtuvieron datos similares (mínimo 3) y continuos durante el tiempo que duró este proceso (**Figura 8**).



Figura 8. Determinación de conductividad hidráulica mediante el método de pozo invertido
(Fuente: Merecí y Suqui, 2013)

Mediante la combinación de un balance de masas con la ecuación de Darcy la conductividad hidráulica saturada se determinó por:

$$K_s = 1.15 \cdot r \cdot s$$

K_s= conductividad hidráulica saturada (cm/h), correspondiente al valor de la conductividad saturada horizontal del suelo.

r= radio del agujero (cm)

s= pendiente de la curva $\log(h + r/2)$ vs. Tiempo

h= altura de la columna de agua dentro del pozo (cm).

5.4.1.6. Capacidad de retención de humedad

Para la determinación de la capacidad de retención de agua del suelo se tomó 2 muestras inalteradas con anillos kopecky de 100 cm³ los mismos fueron trasladados al laboratorio de hidrofísica de suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias.

- a) Las muestras inalteradas (anillos kopecky) fueron registradas al ingresar al laboratorio, se retiraron las tapas que protegían la muestra,

cuidadosamente se limpió la superficie de los anillos evitando la pérdida de suelo, también se cortó raíces pequeñas y finalmente las muestras fueron enraizadas.

- b) En la parte correspondiente al bisel del anillo se dispuso una tela nylon sujeta con una liga como medida de protección, las muestras inalteradas fueron ubicadas en bandejas y paulatinamente se agregó agua hasta alcanzar un nivel de 4 cm permaneciendo en este estado durante cuatro semanas. Después del tiempo establecido las muestras alcanzaron su punto de saturación, con cautela se secó el exceso de agua de la parte externa de los anillos y se procedió a pesarlos incluyendo telas y ligas; este procedimiento permitió el cálculo del contenido de agua del suelo sometido a pF 0.
- c) Lo siguiente fue someter las muestras a pF 0,5, para este punto se ubicaron los anillos en la caja de arena, la cual mantuvo un nivel de agua correspondiente a la presión establecida, se ejerció una leve presión sobre los anillos con la finalidad de que exista mejor contacto con la arena, después de 7 días las muestras fueron pesadas y se realizó el mismo proceso para el pF 1,5 (**Figura 9**).



Figura 9. Determinación del contenido de humedad a pF 0; 0,5 y 1,5 en el laboratorio de hidrofísica de la Facultad C.C.A.A

(Fuente: Merecí y Suqui, 2013)

- d) Para pF 2,3 se utilizó placas de cerámica (previamente saturadas) de extractores de presión, sobre la placa de cerámica se esparció pasta

saturada de material limoso con el objetivo de obtener un mejor contacto entre la muestra y la placa, los anillos de la caja de arena fueron extraídos y pesados sin telas, ni ligas sin descartar estos pesos para futuros cálculos. En seguida se ubicaron los anillos en las placas preparadas y en el fondo de los extractores de presión se colocó un recipiente con agua para evitar la pérdida de humedad por transpiración. En última instancia se situaron las placas de cerámica con los anillos dentro de los extractores de presión de forma adecuada y se procedió a cerrarlos. Por consiguiente se utilizó el sistema de válvulas del equipo y se estableció la presión correspondiente a pF 2,3 (0,20 bares). Acontecido 7 días se determinó el peso de los anillos con muestra y el peso de los anillos vacíos.

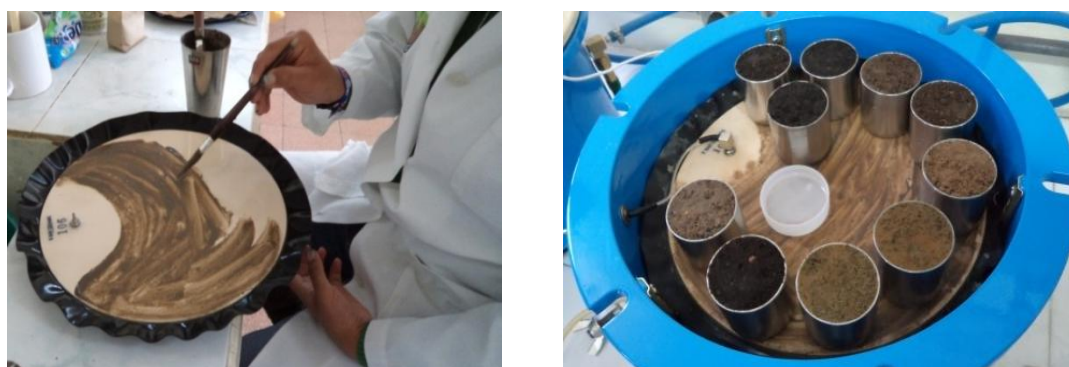


Figura 10. Determinación del contenido de humedad a pF 2,3 en el laboratorio de hidrofísica de la Facultad de C.C.A.A.

(Fuente: Merecí y Suqui, 2013).

- e) Para pF 3,4 y 4,2 se elaboró pasta saturada con suelo proveniente de muestra alterada de cada horizonte representativo de los sitios de estudio, la que fue tamizada (tamiz 2 mm). Posteriormente la muestra tamizada fue colocada en una mezcladora de suelo y continuamente se añadió agua hasta conseguir una pasta de consistencia cremosa y brillante, la cual se mantuvo en reposo por 48 horas (dependiendo del tipo de suelo). Luego de este periodo se dispuso la pasta en los anillos de PVC previamente codificados (1 cm de alto x 4.6 cm de

diámetro) los que fueron ubicados con anticipación sobre las placas de cerámica saturadas de 5 - 15 bares para disponerlas con facilidad en las extractores de presión y nuevamente con el sistema de válvulas se establecieron las presiones requeridas que correspondan a pF 3,4 y 4,2 cabe recalcar que los anillos permanecieron en los extractores durante 7 días, estas fueron pesadas y en secuencia fueron introducidas en la estufa a 105 °C por el lapso de 24 horas, por último se pesaron las muestras (**Figura 10**). Estos datos fueron registrados en fichas (**ANEXO 4**) con la finalidad de realzar cálculos posteriores.



Figura 11. Determinación del contenido de humedad a pF 3,4 y 4,2 en el laboratorio de hidrofísica de la Facultad de C.C.A.A
(Fuente: Merecí y Suqui, 2013).

5.4.2. Determinación de propiedades químicas

Para determinar las propiedades químicas como: pH, CE, MO, SB, NT, CIC, NH_4 , NO_3 , P, K, Ca, Mg, Mn, Al + H, Na, Cu, Fe, Zn, B, SO_4 , se tomó 1 kg de muestra alterada de cada horizonte con su respectivo código, las que fueron enviadas al laboratorio AGROBIOLAB en Quito en donde se analizaron las siguientes variables:

- pH: se determina por potenciometría en una relación suelo agua de 1:2.5.



- Conductividad eléctrica (CE) y sodio (Na): se realiza en extracto de agua de pasta saturada de suelo. Para CE utilizan como instrumento el puente de salinidad de Wheatstone.
- Materia orgánica (MO): se determina mediante el proceso de oxidación reducción causada por el dicromato de potasio y el ácido sulfúrico (método de Walkley and Black).
- Nitrógeno amoniacal (NH_4): se realiza por extracción con bicarbonato de sodio y la adición de fenol básico y cloretol para desarrollar el color necesario para determinar su absorbancia en un colorímetro.
- Nitratos (NO_3): es realizada mediante el método del ácido sulfónico.
- Fósforo (P): utiliza el extractante de bicarbonato de sodio a un pH de 8.5. El resto del proceso es colorimétrico.
- Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg): son extraídos con la solución bicarbonato de sodio para luego ser determinados por espectrofotometría de absorción atómica.
- Acidez Intercambiable (Al+H): se determina por titulación en una alícuota del extracto de cloruro de potasio 1N, y haciendo uso de fenolftaleína como indicador, se titula con una solución de NaOH 0.01N.
- Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Zinc (Zn): son extraídos por un agente quelatante EDTA, que es adicionado a la misma solución extractora de bicarbonato de sodio, para luego ser determinados por Absorción Atómica.
- Boro (B) y Sulfatos (SO_4): El azufre y el boro son extraídos mediante la solución de fosfato de calcio. El método turbidimétrico es utilizado para el azufre determinándolo como sulfato de bario por método colorimétrico. El boro es determinado mediante el método de la curcumina y leído su absorbancia en un colorímetro.



6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Caracterización de parámetros físico-químicos de suelos bajo cobertura bosque de neblina montano

En la presente investigación se seleccionaron 7 sitios bajo bosque de neblina montano, en primera instancia de describirán las propiedades de los horizontes “O” (capara orgánica). Todas las zonas de estudio bajo cobertura natural presentaron horizontes orgánicos formados por el aporte continuo de hojarasca proveniente de la vegetación. En forma general las capas orgánicas presentaron las siguientes características: un espesor que rodea los 7cm, se encontró un porcentaje de materia orgánica entre 22,7% y 52,09%, al mismo tiempo se han caracterizado por mostrar valores de SB que varían entre 64,68% y 96,27%, conjunto con estas propiedades se determinó valores pH de 6 - 7,10 resultando ser neutro o ligeramente ácido, con respecto a estos resultados Lozano et al. (2007) encontraron que los suelos bajo bosques andinos se caracterizan por un alto contenido de materia orgánica presentando un promedio de 12,67% en todo el perfil.

Para la determinación del tipo de suelo bajo cobertura natural se procedió a describir las características más relevantes de los horizontes encontrados bajo bosque. El primer sitio a mencionarse presentó un horizonte A de 60 cm con textura franco arcillosa y estructura de migajosa, se caracterizó por presentar un color de 7,5 YR 2/2, mostrando un 8,22% de MO, una SB de 58,58% y un pH ligeramente ácido de 5,90. En este perfil se encontró un horizonte R del cual no se realizó determinación de propiedades. El segundo perfil se caracterizó por presentar un horizonte A de 20 cm, con textura arcillo franco arenosa y estructura de migajón, con color 10 YR 2/3, exhibió un 7,63% de materia orgánica, un 57,00% en cuanto a SB y por último un pH de 5,80, encontrándose también un horizonte B de 50 cm, con textura franca con una estructura de bloque, con color 10 YR 4/4, un porcentaje de 2,06% de MO, 78,12% en SB y un pH de 5,50, también se observó un horizonte R.



En el tercer sitio bajo cobertura natural se encontró un horizonte AB de 22 cm, textura franco arcillosa arenosa, con estructura granular, encontrando un 9,86% de MO, una SB de 65,09% y un valor pH de 5,20; el siguiente horizonte encontrado fue un BC de 50 cm, con textura franca, estructura granular, color 10 YR 4/3, un porcentaje de MO de 1,74% y una SB de 81,47%. En el siguiente sitio se determinó un perfil con horizonte A de 80 cm, con textura franco arcillo arenosa, estructura migajón, con color 10 YR 2/2, mostrando un porcentaje de 9,25% de MO, también presentó un 30,35% en cuanto a SB y un pH de 5,90. El siguiente sitio también presentó un horizonte A de 25 cm, con textura franco arenoso, estructura de migajón, un color 10 YR 3/3, un porcentaje de MO de 3,14%, una SB de 79,91% y un pH de 6,00. Así mismo el penúltimo sitio presentó un horizonte A de 40 cm con textura franco arcillo arenoso, una estructura de migajón, un color 10 YR 3/3, un porcentaje de MO de 8,03%, con una saturación de bases de 64,76% y un valor pH de 5,60. El último sitio presentó dos horizontes, un A de 30 cm, con textura franco arcillo arenoso, con una estructura de migajón, con color 10 YR 3/3, un porcentaje de MO de 9,93 y una SB de 77,7%, acompañadas de un valor pH de 5,60.

Al analizar las características de los horizontes de cada perfil estudiado sea ha encontrado concordancia con horizontes mólicos que de acuerdo a la FAO (2006) presenta propiedades tales como: 1-30% de MO, un porcentaje de SB mayor al 50%, croma de 3 y un valor de 6,00 en cuanto a pH, asumiendo que posiblemente estos suelos pertenecen al orden de los Phaeozems.



Tabla 2. Valores mínimo - máximo, promedio y mediana de las propiedades físicas de epipedones de 4 tipos de cobertura vegetal

Cober.		Ar (%)	L (%)	a (%)	Ksat (cm/h)	D.A. (g/ cm ³)	pF 0 (cm ³ /cm ³)	pF 0,5 (cm ³ /cm ³)	pF 1,5 (cm ³ /cm ³)	pF 2,3 (cm ³ /cm ³)	pF 3,4 (cm ³ /cm ³)	pF 4,2 (cm ³ /cm ³)
	(min-max)	(30 - 60)	(20 - 30)	(16 - 40)	(1,19 - 10,49)	(0,75 - 1,19)	(0,54 - 0,71)	(0,53 - 0,67)	(0,47 - 0,57)	(0,43 - 0,51)	(0,41 - 0,48)	(0,27 - 0,38)
Bm	promedio	48	24,67	27,33	4,76	0,89	0,65	0,63	0,53	0,47	0,45	0,34
	mediana	50	24	28	4,43	0,85	0,66	0,64	0,54	0,49	0,45	0,35
	(36 - 54)	(20 - 28)	(22 - 38)	(0,69 - 5,75)	(0,63 - 0,94)	(0,60 - 0,69)	(0,60 - 0,67)	(0,55 - 0,63)	(0,47 - 0,52)	(0,39 - 0,49)	(0,29 - 0,40)	
Pas		44,8	25,2	30	2,52	0,79	0,66	0,64	0,59	0,5	0,45	0,35
		46	25	29	1,84	0,83	0,67	0,65	0,61	0,51	0,46	0,36
	(44 - 72)	(18 - 26)	(10 - 30)	(0,52 - 11,36)	(0,44 - 0,94)	(0,64 - 0,84)	(0,61 - 0,80)	(0,58 - 0,76)	(0,43 - 0,68)	(0,39 - 0,62)	(0,36 - 0,55)	
Pam		58,8	22,4	18,8	3,65	0,71	0,72	0,7	0,64	0,53	0,46	0,41
		58	25	17	2,35	0,65	0,7	0,68	0,6	0,47	0,41	0,37
	(34- 62)	(20 - 36)	(18 - 32)	(2,55 - 13,38)	(0,43 - 0,84)	(0,67 - 0,79)	(0,66 - 0,78)	(0,54 - 0,69)	(0,43 - 0,63)	(0,36 - 0,60)	(0,25 - 0,41)	
C		45	28	27	6,13	0,73	0,7	0,69	0,63	0,5	0,44	0,32
		43	27	28	5,53	0,81	0,68	0,67	0,64	0,48	0,42	0,33

Cober: cobertura, **Bm:** bosque de neblina montano, **Pas:** pasto sin manejo, **Pam:** pasto con manejo, **C:** cultivos, **Ar:** arena, **L:** limo, **a:** arcilla, **Ksat:** conductividad hidráulica saturada, **D.A.:** densidad aparente, **pF:** unidad de presión



Tabla 3. Valores mínimo- máximo, promedio y mediana de las propiedades físicas de endopedones de 4 tipos de cobertura vegetal

Cober.		Ar (%)	L (%)	a (%)	Ksat (cm/h)	D.A. (g/ cm ³)	pF 0 (cm ³ /cm ³)	pF 0,5 (cm ³ /cm ³)	pF 1,5 (cm ³ /cm ³)	pF 2,3 (cm ³ /cm ³)	pF 3,4 (cm ³ /cm ³)	pF 4,2 (cm ³ /cm ³)
	(min-max)	(42 - 58,00)	(24 - 36,00)	(16 - 30,00)	(0,85 - 8,09)	(0,73 - 1,06)	(0,59 - 0,69)	(0,58 - 0,72)	(0,53 - 0,60)	(0,48 - 0,52)	(0,41 - 0,48)	(0,31 - 0,37)
Bm	promedio	48,5	29,5	22	3,46	0,86	0,67	0,65	0,57	0,5	0,46	0,35
	mediana	47	29	21	2,46	0,83	0,67	0,65	0,58	0,5	0,47	0,36
		(54 - 66,00)	(20 - 26,00)	(8 - 22,00)	(0,66 - 2,63)	(0,92 - 1,20)	(0,55 - 0,64)	(0,54 - 0,62)	(0,48 - 0,55)	(0,42 - 0,49)	(0,39 - 0,47)	(0,27 - 0,31)
Pas		60	23,33	16,67	1,35	1,03	0,59	0,57	0,52	0,46	0,44	0,29
		60	24	20	0,77	0,98	0,58	0,56	0,52	0,47	0,46	0,28
		(42 - 72,00)	(16 - 28,00)	(8 - 34,00)	(0,14 - 4,34)	(0,76 - 1,31)	(0,50 - 0,75)	(0,50 - 0,75)	(0,49 - 0,72)	(0,45 - 0,62)	(0,34 - 0,52)	(0,21 - 0,47)
Pam		57,67	22	20,33	1,22	1,05	0,61	0,6	0,58	0,53	0,44	0,34
		59	22	17	0,65	1,09	0,58	0,56	0,54	0,5	0,45	0,37
		(36 - 64,00)	(24 - 32,00)	(10 - 40,00)	(0,47 - 1,64)	(0,62 - 1,32)	(0,50 - 0,68)	(0,50 - 0,65)	(0,49 - 0,56)	(0,42 - 0,48)	(0,33 - 0,44)	(0,23 - 0,40)
C		49,33	27,33	23,33	0,98	0,92	0,62	0,6	0,53	0,45	0,39	0,3
		48	26	20	0,83	0,83	0,68	0,64	0,53	0,47	0,4	0,26



Tabla 4. Valores mínimo- máximo, promedio y mediana de las propiedades químicas de epipedones de 4 tipos de cobertura vegetal

Cober.		pH	C.E. (mmhos/cm)	M.O. (%)	S.B. (%)	CIC (meq/100g)	NT (%)	NH ₄ (ppm)	NO ₃ (ppm)	P (ppm)	K (meq/100ml)
	(min-max)	(5,6 - 7,1)	(0,07 - 0,85)	(3,14 - 52,09)	(30,35 - 96,27)	(22 - 41)	(0,07 - 2,37)	(20,60 - 127,50)	(1,20 - 47,50)	(2,00 - 30,40)	(0,09 - 1,31)
Bm	promedio	6,16	0,35	23,04	74,75	29,77	1,12	53,63	14,12	12,17	0,65
	mediana	6	0,35	22,87	79,91	26	0,99	51,1	12,3	5,9	0,6
		(5,3 - 5,90)	(0,1 - 0,35)	(7,12 - 10,32)	(33,63 - 56,22)	(30 - 43)	(0,51 - 0,68)	(26,3 - 93,1)	(0,6 - 26,7)	(2,3 - 8,4)	(0,05 - 1,87)
Pas		5,63	0,24	8,6	42,92	38,33	0,68	62,58	12,42	4,37	0,67
		5,7	0,19	8,48	45,27	35,5	0,65	43,5	8,15	2,8	0,47
		(5,3 - 5,6)	(0,10 - 0,44)	(4,70 - 25,46)	(16,1 - 55,58)	(30 - 54)	(0,37 - 1,22)	(24,4 - 133,2)	(2,6 - 26,2)	(0,80 - 7,70)	(0,06 - 0,36)
Pam		5,43	0,12	14,28	32,27	33,5	0,67	56,88	8,3	3,2	0,2
		5,4	0,11	8,44	28,7	32	0,54	36,85	8,5	2,15	0,2
		(5,1 - 6,3)	(0,13 - 0,8)	(6,13 - 26,02)	(13,09 - 70,72)	(31 - 37)	(0,44 - 1,06)	(22,5 - 51,1)	(7,4 - 57,00)	(4,2 - 62,2)	(0,11 - 1,27)
C		5,72	0,4	12,71	47,02	34,33	0,76	36,82	25,1	24,92	0,82
		5.75	0,3	11.07	50.08	34.5	0.8	35.9	19.45	13.7	0.81

Cober.	Ca (meq/100ml)	Mg (meq/100ml)	Na (meq/100ml)	Al+H (meq/100ml)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	B (ppm)	SO ₄ (ppm)
	(6,96 - 19,92)	(1,17 - 6,70)	(0,01 - 0,05)	(0,40 - 2,70)	(0,50 - 5,00)	(2,40 - 125,10)	(1,80 - 28,50)	(2,60 - 57,60)	(0,01 - 1,39)	(4,2 - 29,6)
Bm	17,19	3,09	0,02	0,69	1,25	48,12	8,85	11,57	0,3	15,42
	18,56	2,8	0,02	0,5	0,9	38,4	6,6	7,5	0,19	14,6
	(2,52 - 14,92)	(0,57 - 2,9)	(0,02 - 0,07)	(0,62 - 6,6)	(0,7 - 2,8)	(101 - 443)	(2,8 - 22,60)	(5,10 - 36,6)	(0,01 - 0,04)	(5,7 - 12,5)
Pas	11,22	1,87	0,04	1,96	2	279,85	16,32	16,35	0,07	9,02
	13,27	2,24	0,03	1	1,8	225,75	17,35	9,75	0,02	9,25
	(1,02 - 10,83)	(0,33 - 3,82)	(0,03 - 0,06)	(0,42 - 8,50)	(0,60 - 3,40)	(46,7 - 560,2)	(1,90 - 33,40)	(1,00 - 7,50)	(0,01 - 0,30)	(3,3 - 11,4)
Pam	5,05	1,24	0,04	4,02	0,95	170,43	6,4	1,98	0,01	4,88
	4,18	0,41	0,05	3,58	0,95	102,2	2,1	1,65	0,01	4,95
	(1,31 - 19,35)	(0,28 - 3,08)	(0,02 - 0,08)	(0,4 - 2,58)	(0,9 - 3,4)	(22,3 - 235,10)	(1,70 - 10,4)	(2,60 - 29,00)	(0,01 - 0,36)	(4,8 - 20,4)
C	11,84	2,01	0,04	1,35	1,7	109,67	5	11,25	0,19	9,65
	11,49	2,07	0,04	1,37	1,45	101,5	4,65	4,95	0,22	8,05



Tabla 5. Valores mínimo- máximo, promedio y mediana de las propiedades químicas de endopedones de 4 tipos de cobertura vegetal

Cober.		pH	C.E. (mmhos/cm)	M.O. (%)	S.B. (%)	CIC (meq/100g)	NT (%)	NH ₄ (ppm)	NO ₃ (ppm)	P (ppm)	K (meq/100ml)
	(min-max)	(5,00 - 6,2)	(0,05 - 0,12)	(1,74 - 9,86)	(65,09 - 81,47)	(30 - 35)	(0,07 - 0,61)	(7,30 - 45,4)	(2,60 - 8,80)	(0,3 - 3,2)	(0,09 - 0,32)
Bm	promedio	5,48	0,08	4	73,92	33,25	0,29	20,63	5,38	1,43	0,21
	mediana	5,35	0,08	2,2	74,56	34	0,24	14,9	5,05	1,1	0,22
	(5,10 - 6,60)	(0,07 - 0,22)	(1,03 - 3,36)	(61,94 - 87,76)	(25 - 36)	(0,14 - 0,29)	(13,0 - 20,6)	(0,03 - 10,9)	(0,6 - 11,3)	(0,13 - 0,90)	
Pas	5,78	0,14	2,47	78,98	30,25	0,23	16,33	4,73	4,23	0,47	
	6	0,13	2,75	83,11	30	0,25	15,85	4	2,5	0,43	
	(5,20 - 6,60)	(0,07 - 0,22)	(0,39 - 20,56)	(12,73 - 90,52)	(8,15 - 37)	(0,04 - 0,68)	(7,3 - 90,2)	(1,20 - 14,3)	(1,0 - 8,7)	(0,08 - 0,52)	
Pam	5,79	0,14	5,38	52,62	26,31	0,27	26,76	6,81	3,56	0,19	
	5,8	0,12	2,08	48,6	27	0,22	14,9	7,4	3,4	0,15	
	(5,20 - 6,20)	(0,11 - 0,97)	(0,63 - 5,68)	(60,86 - 87,96)	(23 - 42)	(0,11 - 0,92)	(20,6 - 24,4)	(5,40 - 63,9)	(0,30 - 8,4)	(0,14 - 0,89)	
C	5,67	0,41	2,78	70,07	33,33	0,42	22,5	25,33	5,7	0,48	
	5,6	0,15	2,03	61,4	35	0,24	22,5	6,7	8,4	0,42	

Cober.	Ca (meq/100ml)	Mg (meq/100ml)	Na (meq/100ml)	Al+H (meq/100ml)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	B (ppm)	SO ₄ (ppm)
	(5,63 - 17,89)	(1,47 - 4,44)	(0,02 - 0,03)	(2,50 - 17,5)	(1,10 - 3,7)	(31,8 - 213,6)	(2,8 - 13,9)	(3,10 - 7,5)	(0,01 - 0,04)	(6,6 - 11,9)
Bm	12,6	3,35	0,03	8,4	1,95	81,25	7,33	5,68	0,02	8,88
	13,45	3,74	0,03	6,8	1,5	39,8	6,3	6,05	0,01	8,5
	(6,52 - 18,42)	(0,91 - 7,08)	(0,03 - 0,05)	(0,32 - 17,4)	(0,90 - 2,7)	(18,4 - 88,3)	(1,0 - 17,5)	(2,0 - 44,0)	(0,01 - 0,16)	(6,30 - 10)
Pas	15,03	4,03	0,04	4,82	1,75	43,85	6,23	18,65	0,07	7,65
	17,59	4,07	0,03	0,78	1,7	34,35	3,2	14,3	0,06	7,15
	(1,10 - 16,76)	(0,34 - 9,84)	(0,03 - 0,07)	(0,30 - 10,6)	(0,80 - 7,4)	(52,7 - 380,0)	(2,0 - 36,8)	(1,50 - 5,1)	(0,01 - 0,07)	(2,7 - 11,6)
Pam	8,26	3,69	0,05	3,42	3,3	174,53	14,2	3,29	0,03	7,09
	8,32	1,41	0,04	1,74	2,8	136,1	9,6	3,3	0,01	6,3
	(12,97 - 17,45)	(2,54 - 6,50)	(0,03 - 0,08)	(0,38 - 9,0)	(1,30 - 7,7)	(49,0 - 142,2)	(1,5 - 15,1)	(4,6 - 30,4)	(0,01 - 0,64)	(6,6 - 13,4)
C	14,67	3,93	0,05	3,31	3,47	87,6	7,67	19,93	0,25	9,3
	13,6	2,74	0,04	0,54	1,4	71,6	6,4	24,8	0,09	7,9



6.2. Efecto de la deforestación sobre los epipedones

Realizada la prueba de U Mann-Whitney con un nivel de significancia de 25% se determinó que la deforestación afecta a las propiedades físico-químicas de epipedones en distinto grado de alteración:

Tabla 6. Valores p (nivel de significancia) de la prueba de U Mann-Whitney de las propiedades físico-químicas de epipedones

Cobertura / Parámetros	Unidades	Valor de p (nivel de significancia)		
		Bm/Pas	Bm/Pam	Bm/C
Arena		0,536 ^{NS}	0,125 ^{**}	0,588 ^{NS}
Limo	%	0,792 ^{NS}	0,536 ^{NS}	0,588 ^{NS}
Arcilla		0,536 ^{NS}	0,177 [*]	0,937 ^{NS}
Ksat	cm/h	0,246 [*]	0,428 ^{NS}	0,484 ^{NS}
DA	g/cm ³	0,428 ^{NS}	0,428 ^{NS}	0,179 [*]
pF 0		1,000 ^{NS}	0,082 ^{**}	0,093 ^{**}
pF 0,5		0,792 ^{NS}	0,125 ^{**}	0,015^{***}
pF 1,5	cm ³ /cm ³	0,017^{***}	0,004^{***}	0,015^{***}
pF 2,3		0,177 [*]	0,428 ^{NS}	0,699 ^{NS}
pF 3,4		1,000 ^{NS}	0,792 ^{NS}	0,309 ^{NS}
pF 4,2		0,792 ^{NS}	0,177 [*]	0,393 ^{NS}
pH		0,014^{***}	0,0002^{***}	0,179 [*]
C.E.	mnhos/cm	0,143 ^{**}	0,143 ^{**}	0,898 ^{NS}
M.O.		0,173 [*]	0,387 ^{NS}	0,179 [*]
S.B.	%	0,004^{***}	0,001^{***}	0,022^{***}
NT		0,288 ^{NS}	0,288 ^{NS}	0,322 ^{NS}
CIC	meq/100g	0,288 ^{NS}	0,207 [*]	0,281 ^{NS}
K		0,849 ^{NS}	0,035^{***}	0,467 ^{NS}
Ca		0,009^{***}	0,001^{***}	0,151 ^{NS}
Mg	meq/100ml	0,143 ^{**}	0,035^{***}	0,071 ^{**}
Na		0,443 ^{NS}	0,002^{***}	0,071 ^{**}
Al+H		0,009^{***}	0,035^{***}	0,087 ^{**}
NH ₄		0,702 ^{NS}	0,775 ^{NS}	0,210 [*]
NO ₃		0,387 ^{NS}	0,702 ^{NS}	0,071 ^{**}
P		0,173 [*]	0,117 ^{**}	0,210 [*]
Cu		0,094 ^{**}	0,633 ^{NS}	0,057 ^{**}
Fe	Ppm	0,001^{***}	0,035^{***}	0,046^{***}
Mn		0,387 ^{NS}	0,702 ^{NS}	0,281 ^{NS}
Zn		0,288 ^{NS}	0,014^{***}	0,701 ^{NS}
B		0,009^{***}	0,075 ^{**}	0,831 ^{NS}
SO ₄		0,075 ^{**}	0,014^{***}	0,106 ^{**}

Bm: bosque de neblina montano, Pas: pasto sin manejo, Pam: pasto con manejo, C: cultivos. Muy significativo (Negrita^{***}), significativo (^{**}), poco significativo (^{*}) y no significativo (^{NS}).



6.2.1. Efecto de la deforestación en los epipedones bajo pasto sin manejo

Los horizontes superficiales bajo pasto sin manejo en cuanto a sus propiedades físicas presentan un cambio poco significativo en conductividad hidráulica ($p= 0,246$) con un valor promedio de 2,52 cm/h, el mismo que resulta menor al valor encontrado en suelos bajo bosque, según Archer et al. (2002) el cambio de uso de suelo conlleva a una alteración en Ksat en los primeros centímetros del perfil debiéndose a la ausencia de raíces de árboles y arbustos característicos de bosques nativos, como también el sistema radicular de la vegetación arbórea genera canales por donde el agua circula a mayor velocidad y así el aire atrapado en el suelo es liberado lo que favorece a la circulación del agua y al drenaje hacia horizontes inferiores (Jarrett y Hoover, 1985).

Se identificó un impacto poco significativo en materia orgánica ($p= 0,173$) presentando una cantidad promedio de 8,6%, lo que indica que existe una disminución en relación a los suelos bajo cobertura natural sin embargo la capacidad de retención de agua presenta una alteración significativa en el pF 1,5 ($p= 0,017$) con un valor promedio de 0,59 cm³/cm³ por otra parte el contenido de agua a pF 2,3 indica un cambio poco significativo ($p= 0,177$) presentando un promedio de 0,50 cm³/cm³ los que resultan ser mayores a los contenidos de agua en suelos bajo cobertura natural efecto atribuido al hecho de que el sistema radicular de pastos encontrados en la zona benefician a la estructura permitiendo la unión de los agregados y la resistencia de los mismos al pisoteo provocado por el ganado ocasionando un mayor contenido de agua (Williams y Cooke, 1961)

Por otra parte en las propiedades químicas se encontró la existencia de una alteración muy significativa en pH ($p= 0,014$) con un promedio de 5,63 presentándose más ácido que en suelos bajo bosque, el incremento de acidez se relaciona con la aportación de estiércol y orina de animales proceso que involucra la transformación de NH₄ a NO₃ por microorganismos



heterótrofos del suelo causando la liberación de H por las raíces de las plantas al absorber bases (Black,1992), en otro sentido Borja et al. (2008) señala que es posible la liberación de Al durante la meteorización el cual es retenido fuertemente por el complejo coloidal, las diferencias encontradas en Al+H y Fe resultan ser muy significativos ($p= 0,009$ y $p= 0,001$) con promedios de 1,96 meq/100ml y 279,85 ppm respectivamente presentando incrementos en relación a los suelos bajo bosque. Con el incremento de acidez se observa también una alteración muy significativa en saturación de bases ($p= 0,004$) con un valor de 42,92% resultando menor a lo encontrado en suelos bajo cobertura no intervenida. Según Bernier y Alfaro (2006) los suelos ácidos poseen mayor cantidad de posiciones de intercambio ocupadas por H^+ y Al debido a la hidrólisis del aluminio provocando también una fuerte retención de P (no disponible para las plantas), en el presente estudio se encontró que P muestra una alteración poco significativa ($p= 0,173$) mostrando una cantidad promedio de 4,37 ppm que resulta ser menor a lo observado en suelos bajo cobertura natural.

Se ha encontrado también una alteración significativa en conductividad eléctrica ($p= 0,143$) observando una disminución con un valor promedio de 0,24 mmhos/cm, se aprecia también una variación muy significativa en Ca ($p= 0,009$) con un promedio de 11,22 meq/100ml, por otro lado se identifica diferencias significativas en Mg y SO_4 ($p= 0,143$ y $p= 0,075$) presentando promedios de 1,87 meq/100ml y 9,02 ppm respectivamente, estos parámetros presentan una disminución a lo encontrado en los suelos bajo bosque, la pérdida de estos elementos se produce durante el proceso de la pedogénesis ya que la meteorización química del suelo conlleva a la hidrólisis ácida en la que hay una reducción de las cantidades de cationes y bases como: Ca, Mg, SO_4 (Zapata, 2004). Al mismo tiempo en esta cobertura existe una alteración significativa en Cu ($p= 0,094$) y una alteración muy significativa en B ($p= 0,009$), los que presentan promedios de 2,00 ppm y 0,07 ppm correspondiendo a un aumento y a una disminución respectivamente, en relación con valores de suelos bajo cobertura natural.



6.2.2. Efecto de la deforestación en los epipedones bajo pasto con manejo

En el análisis de cambios producidos en los suelos bajo pasto con manejo se encontró un efecto significativo en arena ($p= 0,125$) la que presenta un promedio de 58,8% aumentando con respecto a los suelos bajo cobertura forestal, mientras que la arcilla presenta un efecto poco significativo ($p= 0,177$) con promedio de 18,8% la cual ha disminuido en comparación con lo observado en suelos bajo bosque, estas alteraciones están ligadas a la mecanización agrícola y a la ejecución incorrecta de prácticas de labranza las que producen una mezcla de horizontes y alteración en su textura.

Otras propiedades físicas como: limo, conductividad hidráulica y densidad aparente no muestran cambios significativos ($p> 0,250$) autores como Malmer et al. (1990) explican que la Ksat en epipedones no muestra diferencias en las primeras etapas de cambio de uso de suelo pero con el continuo manejo y uso de maquinaria se originan efectos negativos en la textura y estructura ocasionando una baja permeabilidad, aumento de escorrentía superficial, erosión con pérdidas de suelo y lixiviación de nutrientes, también se observa una alteración nada significativa en materia orgánica atribuyéndose a la aportación de carbono por la descomposición de raíces de la cobertura nativa que aún permanecen en el suelo logrando encontrar contenidos de carbono del 17 al 20% más en pastizales de 3–7 años (Jaramillo et al., 2003).

Una investigación realizada por Da Silva, Libandi y Camargo (1986) mencionan que en suelos de pasto con manejo al producirse un leve pisoteo por parte del ganado se genera la disminución del tamaño de macroporos como también el aumento de microporos que son capaces de almacenar más cantidad de agua a lo que se suma el hecho de que las raíces de gramíneas intervienen en la aglomeración de los agregados del suelo, estos factores causan que en el presente estudio existan alteraciones significativas en el pF 0 ($p= 0,082$) con un promedio de $0,72 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ de igual forma en pF



0,5 ($p= 0,125$) con $0,70 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, se evidencia también un valor muy significativo en pF 1,5 ($p= 0,004$) presentando un promedio de $0,64 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ por otro lado se observa un cambio poco significativo en pF 4,2 ($p= 0,177$) con promedio de $0,41 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, valores que resultan ser mayores a los encontrados en suelos bajo cobertura no intervenida.

En propiedades químicas como el pH se aprecia un cambio muy significativo ($p= 0,0002$) al cual le corresponde un promedio de 5,43 con una disminución en relación a suelos bajo bosque, se atribuye a la presencia de iones de hidrógeno y de aluminio absorbidos en la superficie de las partículas del suelo por ende Al+H y Fe han mostrado cambios muy significativos ($p= 0,035$) con promedios de 4,02 meq/100ml y de 170,43ppm respectivamente, siendo más altos a lo apreciado en suelos bajo bosque. Se observa también variaciones en SB con una alteración muy significativa ($p= 0,001$) mostrando un valor promedio de 32,27% siendo menor al porcentaje encontrado en suelos bajo bosque, la disminución de SB se relaciona con alteraciones muy significativas en Ca ($p= 0,001$), en Mg ($p= 0,035$), en SO_4 ($p= 0,014$), K ($p= 0,035$) y Zn ($p= 0,014$) con valores promedio de 5,05 meq/100ml, 1,24 meq/100ml, 4,88 ppm, 0,2 meq/100ml y 1,98 ppm respectivamente, al mismo tiempo se aprecian cambios significativos en P ($p= 0,117$) y en B ($p= 0,075$) los mismos que presentan promedios de 3,20 ppm y 0,01 ppm respectivamente, los elementos nombrados han presentado disminuciones en relación a datos descritos en suelos no intervenidos, hecho que es causado por la formación de CO_2 en donde el hidrogenión desplaza a las bases de las sales de cambio a la vez que las raíces de las plantas liberan H al absorber nutrientes (Ca, K, Mg) provocando pH bajo (Bellido et al., 2008 y Jiménez et al. 2008).

El efecto de la deforestación en los elementos anteriormente nombrados repercute en la CE con un cambio significativo ($p= 0,143$) cuyo promedio es de 0,12 mmhos/cm el cual resulta ser menor a lo encontrado en suelos bajo cobertura no intervenida sin embargo el Na presenta diferencias muy significativas ($p= 0,002$) con un valor promedio de 0,04 meq/100ml



aumentando levemente con respecto a suelos bajo bosque, cuando existe un incremento considerable de Na podría deberse a que el complejo coloidal es saturado con Na lo que desplaza a elementos como Ca o Mg (Bosch et al., 2012). En los suelos bajo pasto con manejo es evidente el aporte continuo de abonos químicos y orgánicos (estiércol) influyendo de forma directa en el contenido de materia orgánica lo que ha provocado que esta variable no presente diferencia estadística ($p > 0,250$) pero con tendencia leve a la disminución, al respecto Bahram et al. (2010) y López (2002) señalan que al ocurrir una conversión de cobertura natural a pasto con manejo el contenido de carbono es afectado por la reducción del 30% en los primeros 20 cm de suelo en donde existe un efecto negativo en la concentración y disponibilidad de N, P, S, Ca, Mg y K a causa de la rápida mineralización de la materia orgánica.

6.2.3. Efecto de la deforestación en epipedones bajo cultivo

En suelos dedicados a la agricultura es común la ausencia de cobertura protectora lo que origina un cambio poco significativo en densidad aparente ($p = 0,179$) con promedio de $0,73 \text{ g/cm}^3$ que resulta ser menor que los suelos bajo bosque cambio producido por actividades de labranza las que provocan una alteración sobre la estructura edáfica mejorando temporalmente las condiciones de aireación del suelo removido resultando en una densidad menor, pero que a la final acaba con un balance negativo al terminar el ciclo del cultivo (Malagón y Montenegro, 1990). Por otra parte el contenido de agua manifiesta incrementos con respecto a suelos bajo cobertura natural en los siguientes puntos: pF 0 con diferencias significativas ($p = 0,093$) observándose un promedio de $0,70 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, en pF 0,5 y 1,5 existen diferencias muy significativas ($p = 0,015$) con promedios de $0,69 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ y $0,63 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ respectivamente, la capacidad de retención de humedad es afectada por el uso de mecanismos de preparación del suelo ya que causan la formación de agregados más pequeños como también la destrucción de capas impermeables modificando el ordenamiento temporal de partículas, no



obstante el uso continuo del suelo ocasionarán la degradación irreversible de capas superficiales.

Por otra parte se evidencia un cambio poco significativo en pH ($p=0,179$) con un valor promedio de 5,72 el cual se presenta más ácido que en suelos bajo bosque natural, la tendencia a la acidez está relacionada con una alteración significativa en Al+H ($p=0,087$) presentando un promedio de 1,35 meq/100ml, así mismo es cierta una variación muy significativa en Fe ($p=0,046$) con 109,67 ppm como valor promedio, el Al+H y Fe muestran aumentos en comparación con los suelos bajo bosque atribuyéndose a procesos de nitrificación que generalmente manifiestan acidez y también por el uso de maquinaria agrícola la que voltea y mezcla los horizontes superficiales con los subsuperficiales originando un aumento de aluminio y por ende de acidez (Vera, 1992), además Buckman y Brady (1966) señalan que las bases que han sido remplazadas del complejo coloidal o que han sido disueltas por ácidos percolantes son removidas por las aguas de drenaje, aumentando el desarrollo de la acidez en forma indirecta por la remoción de cationes metálicos que compiten con el hidrógeno en los cambios de los complejos.

Con respecto a suelos bajo cobertura natural existe la pérdida de elementos como de Mg y SO_4 provocando alteraciones significativas ($p=0,071$ y $p=0,106$) con valores promedios de 2,01 meq/100ml y 9,65 ppm respectivamente, este cambio ha repercutido en una alteración muy significativa ($p=0,022$) encontrada en SB ya que la misma presenta un valor promedio de 47,02% que en relación a los suelos bajo cobertura natural resulta ser menor, el cambio se atribuye al lavado de bases en el suelo y a la percolación que traslada a los cationes a capas profundas, al mismo tiempo se observa una diferencia significativa en Na ($p=0,071$) con un valor de 0,04 meq/100ml el cual es mayor a los valores encontrados bajo suelos no intervenidos, el aumento del Na se relaciona con tasas altas de evapotranspiración ya que durante este proceso las sales se concentran en las capas superficiales (FAO, 2006).



Al observar contenidos de materia orgánica es indiscutible un cambio poco significativo ($p= 0,179$) con porcentaje promedio de 12,71% resultando ser menor a lo observado en suelos bajo cobertura forestal nativa en relación a esto Mergen y Malcom (1995) señalan que a largo plazo el cambio de uso de suelo provoca alteraciones principalmente en capas superficiales relacionadas con la rápida oxidación de MO, del mismo modo Geissert et al. (2000) indican que zonas cultivadas presentan un declive del 40% de materia orgánica en comparación con áreas de bosque de neblina montano. La deforestación afecta de forma significativa a NO_3 ($p= 0,071$) el mismo que presenta una cantidad promedio de 25,10 ppm lo que supera a las cantidades de los suelos bajo cobertura natural por otra parte NH_4 ha presentado un cambio poco significativo ($p= 0,210$) con 36,82 ppm (valor promedio) el cual presenta un descenso con respecto a suelos bajo cobertura natural indicando que el amonio está propenso a la lixiviación caso contrario sucede con NO_3 , ya que el mismo está influenciado por la aplicación de fertilizantes nitrogenados y por el grado de mineralización (García et al., 2009).

Por otro lado el P manifiesta un valor poco significativo ($p= 0,210$) correspondiendo a un valor de 24,92 ppm que resulta ser mayor a lo registrado en suelos bajo bosque, además se observa una alteración significativa en Cu ($p= 0,057$) al que se le atribuye un promedio de 1,7 ppm el cual ha incrementado con respecto a valores de suelos bajo bosque. Según Quintero et al. (1999) la degradación de la textura del suelo y óxidos libres aturden la carga eléctrica influyendo de forma negativa en la capacidad amortiguadora del suelo, por otra parte el contenido de cationes en epipedones depende de la presencia de horizontes orgánicos, como del grado de meteorización lo que influye en la pérdida o translocación de nutrientes hacia capas más profundas, siendo afectado también por el uso de fertilizantes químicos utilizados para mejorar la productividad (Wilcke et al., 2002).

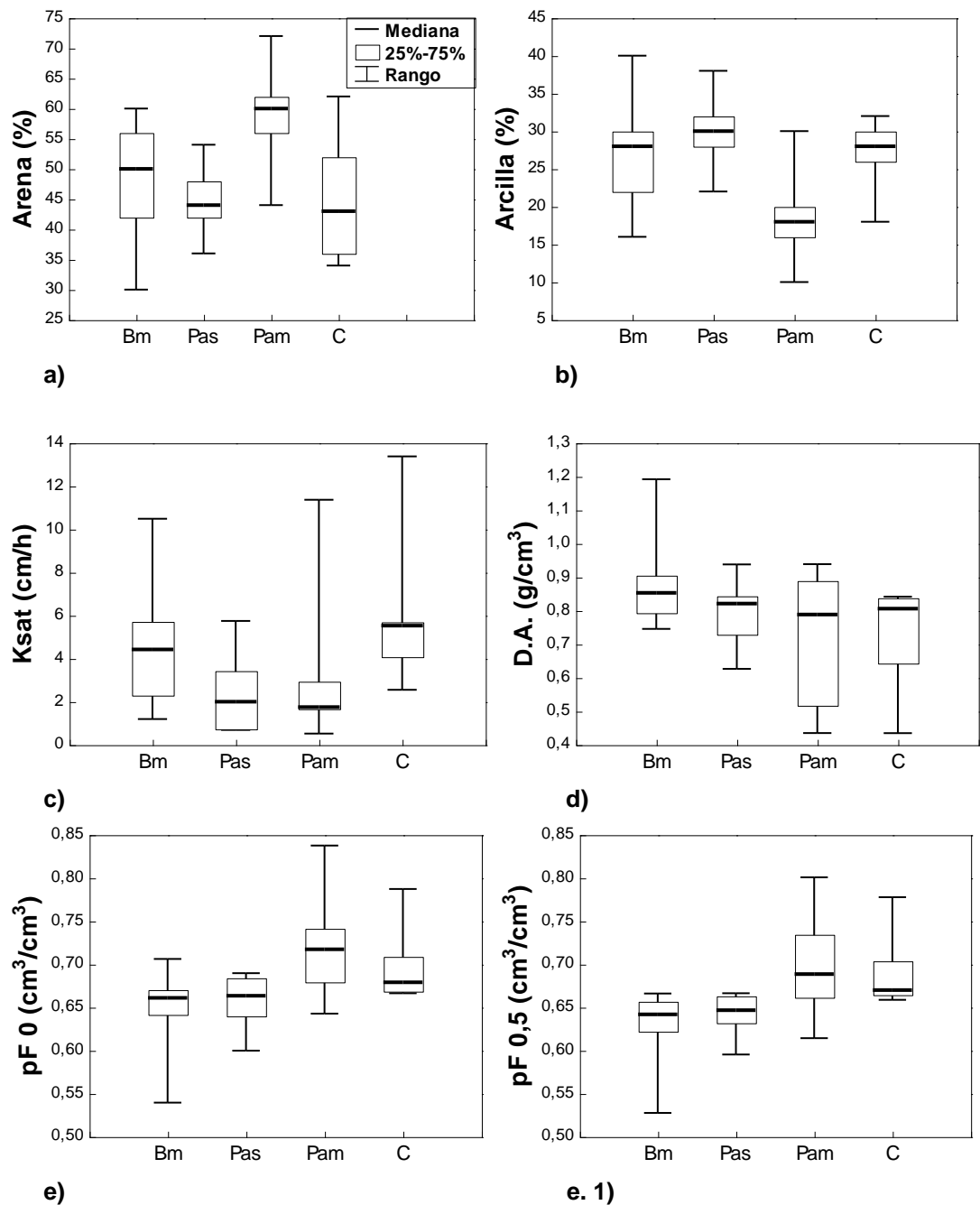


Figura 12. Diagrama de caja de variables estadísticamente significativas en epipedones: a) arena, b) arcilla, c) conductividad hidráulica saturada, d) densidad aparente, e) retención de humedad a pF 0, e. 1) pF 0,5, e. 2) pF 1,5, e. 3) pF 2,3, e. 4) pF 4,2, f) capacidad de intercambio catiónico, g) materia orgánica, h) pH, i) aluminio, j) saturación de bases, k) conductividad eléctrica, l) nitratos, m) amonio, n) sodio, o) calcio, p) fósforo, q) potasio, r) magnesio, s) cobre, t) hierro, u) zinc, v) boro, w) sulfatos

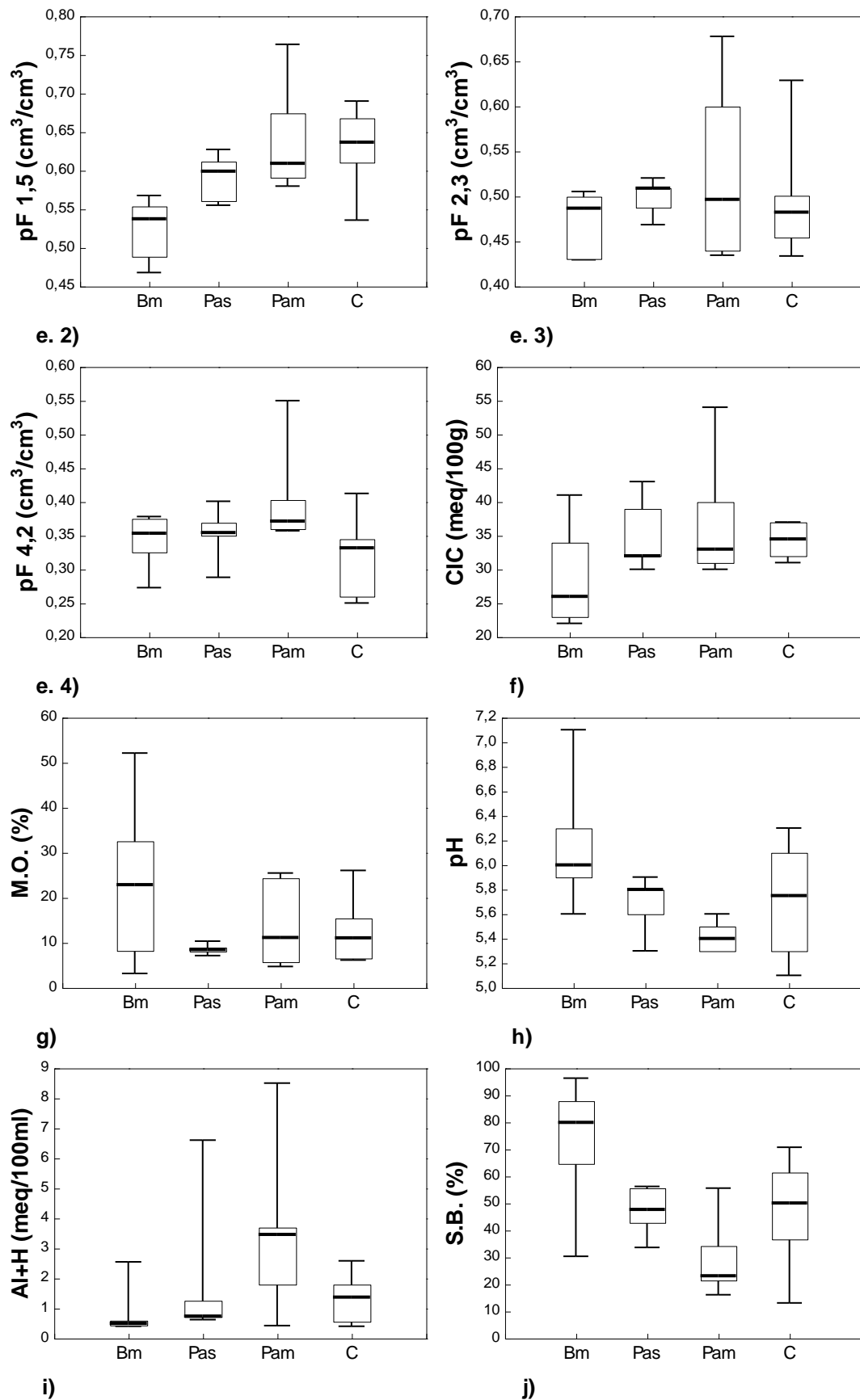
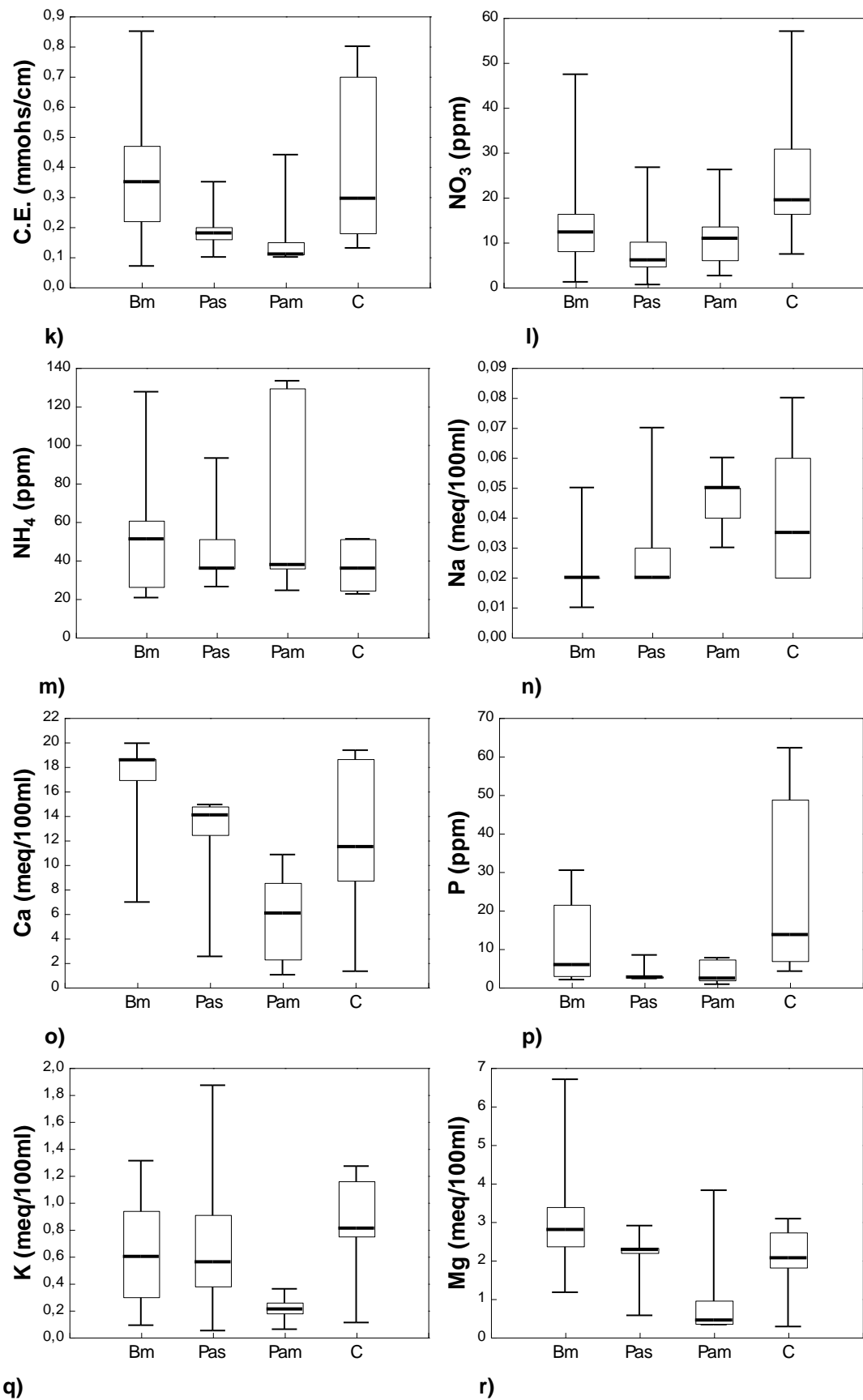


Figura 12. Continuación



q)
Figura 12. Continuación

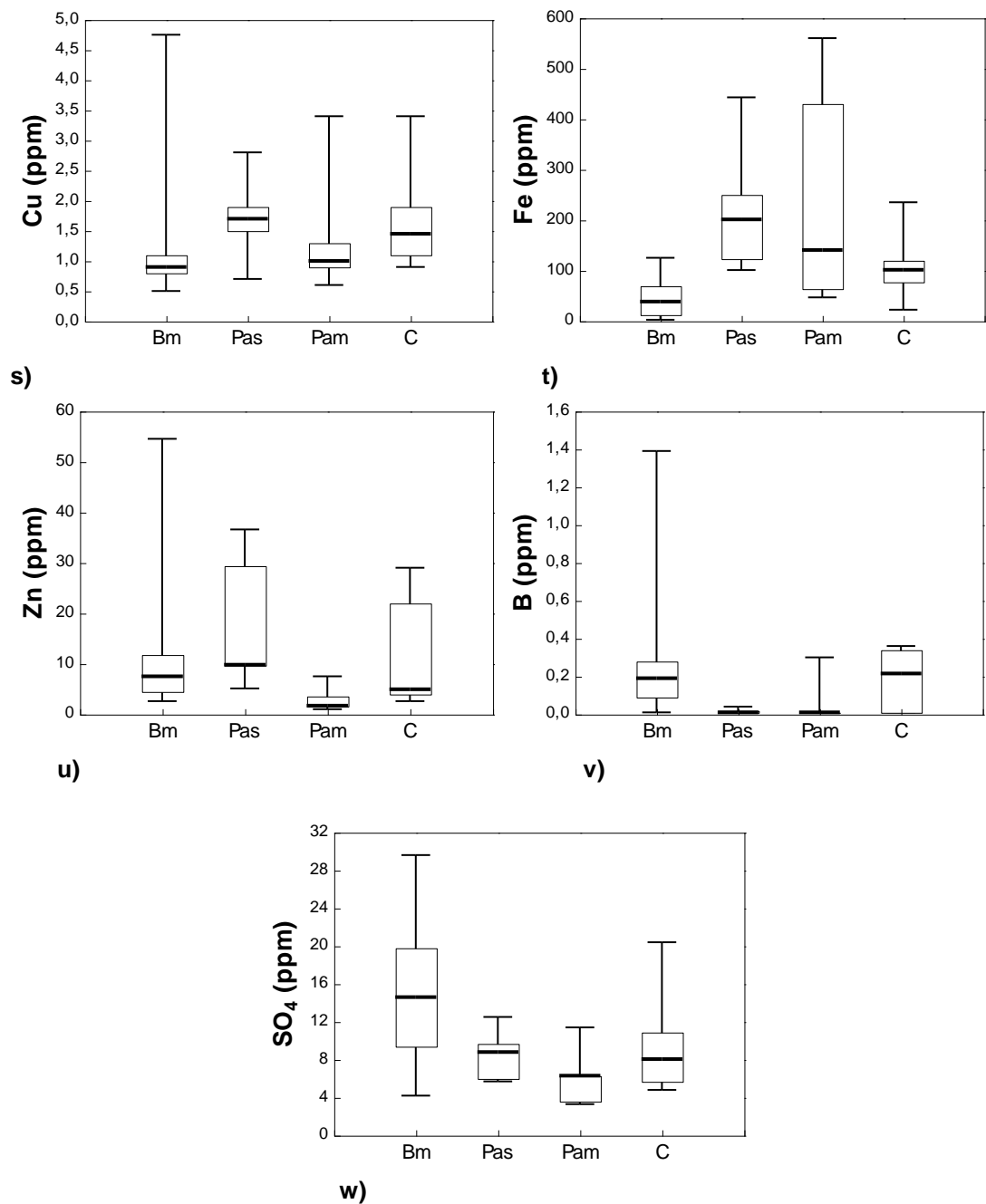


Figura 12. Continuación

6.3. Análisis de propiedades físico-químicas en conjunto bajo epipedones

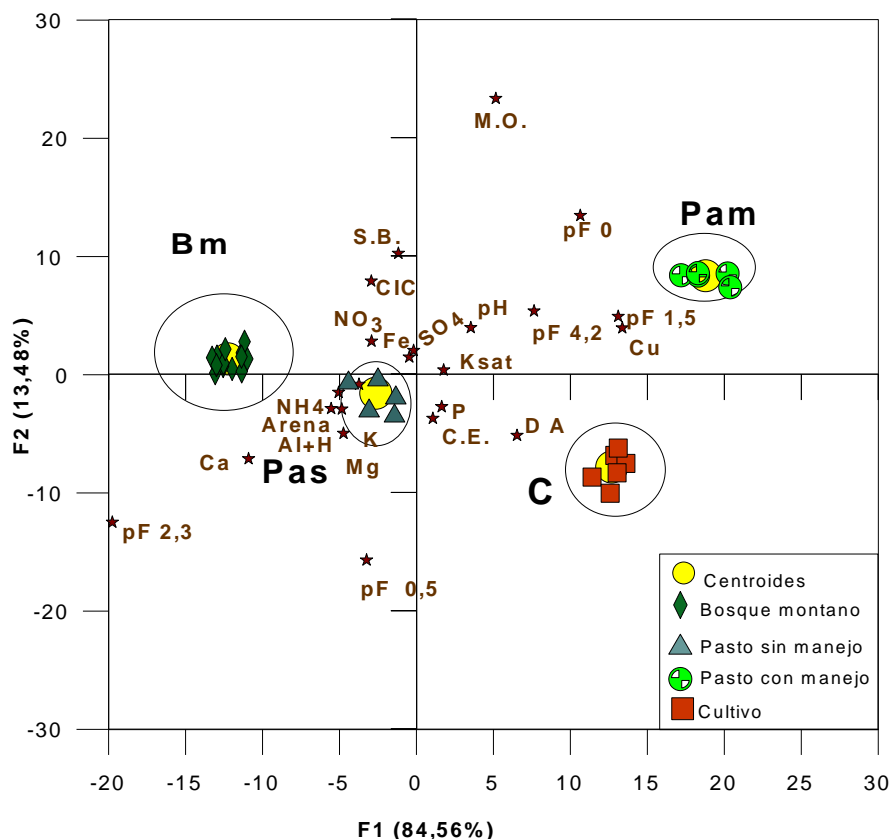


Figura 13. Distribución de las observaciones e influencia de variables de epipedones

Los epipedones bajo pasto con manejo (Pam) presentan mayor diferencia ya que sus observaciones se encuentran a mayor distancia con respecto al centroide de bosque de neblina montano (Bm), en segundo lugar se observan diferencias con epipedones bajo cultivo y por último encontramos a pasto sin manejo (Pas) que difiere en menor grado en relación a la cobertura natural Bm, al observar la **Figura 13**, se deduce que las variables que influyen en el factor 1 son: pF 2,3, Cu, pF 1,5, Ca, pF 4,2, densidad aparente, Al+H, arena, K, Mg, NH₄, NO₃, Ksat, las que explican el 84,56% de variabilidad; en el factor 2 se encuentra a: pF 0, MO, pH, pF 0,5, CIC, P, S.B, C.E. y SO₄, que contribuyen con el 13,48% y en el factor 3 solamente el Fe aporta con 1,95% de variabilidad, lo que nos indica que las variables nombradas son las que se encuentran mayormente afectadas por la deforestación.



6.4. Efecto de la deforestación sobre los endopedones

Realizada la prueba de U Mann-Whitney con un nivel de significancia de 25% se determinó que la deforestación afecta a las propiedades físico-químicas de endopedones en distinto grado de alteración:

Tabla 7. Valores p (nivel de significancia) de la prueba de U Mann-Whitney de las propiedades físico-químicas de Endopedones

Cobertura / Parámetros	Unidad	Valor de P (nivel de significancia)		
		Bm/Pas	Bm/Pam	Bm/C
Arena		0,114**	0,352 ^{NS}	0,857 ^{NS}
Limo	%	0,400 ^{NS}	0,114**	0,857 ^{NS}
Arcilla		0,628 ^{NS}	0,761 ^{NS}	1,000 ^{NS}
Ksat	cm/h	0,228*	0,114**	0,228*
DA	g/cm ³	0,228*	0,171*	1,000 ^{NS}
pF 0		0,114**	0,352 ^{NS}	0,857 ^{NS}
pF 0,5		0,114**	0,352 ^{NS}	0,228*
pF 1,5	cm ³ /cm ³	0,114**	0,609 ^{NS}	0,228*
pF 2,3		0,228*	1,000 ^{NS}	0,114**
pF 3,4		0,228*	0,761 ^{NS}	0,114**
pF 4,2		0,114**	0,476 ^{NS}	0,628 ^{NS}
pH		0,685 ^{NS}	0,412 ^{NS}	0,628 ^{NS}
C.E.	mnhos/cm	0,342 ^{NS}	0,315 ^{NS}	0,114**
M.O.		1,000 ^{NS}	0,927 ^{NS}	0,628 ^{NS}
S.B.	%	0,485 ^{NS}	0,230*	0,628 ^{NS}
NT		0,885 ^{NS}	0,927 ^{NS}	0,857 ^{NS}
CIC	meq/100g	0,485 ^{NS}	0,163*	0,628 ^{NS}
K		0,342 ^{NS}	0,927 ^{NS}	0,228*
Ca		0,485 ^{NS}	0,315 ^{NS}	0,857 ^{NS}
Mg	meq/100ml	0,885 ^{NS}	0,412 ^{NS}	1,000 ^{NS}
Na		0,200*	0,012***	0,114**
Al+H		0,200*	0,163*	0,228*
NH ₄		0,885 ^{NS}	1,000 ^{NS}	0,400 ^{NS}
NO ₃		0,685 ^{NS}	0,927 ^{NS}	0,228*
P		0,485 ^{NS}	0,109**	0,400 ^{NS}
Cu		0,885 ^{NS}	0,787 ^{NS}	0,857 ^{NS}
Fe	ppm	0,342 ^{NS}	0,109**	0,400 ^{NS}
Mn		0,685 ^{NS}	0,527 ^{NS}	1,000 ^{NS}
Zn		1,000 ^{NS}	0,072**	0,400 ^{NS}
B		0,485 ^{NS}	0,787 ^{NS}	0,228*
SO ₄		0,485 ^{NS}	0,315 ^{NS}	0,857 ^{NS}

Muy significativo (Negrita***), significativo (**), poco significativo (*), no significativo (^{NS}).



6.4.1. Efecto de la deforestación en los endopedones bajo pasto sin manejo

Los endopedones de suelos bajo pastos sin manejo muestran diferencias significativas ($p= 0,114$) en el contenido de arena con promedio de 60% lo que se relaciona con una alteración poco significativa en densidad aparente ($p= 0,228$) con un valor de $1,03 \text{ g/cm}^3$ datos que resultan ser mayores a los valores apreciados en suelos de bosque, con respecto a estas alteraciones Calvache (2010) indica que la densidad aparente depende del contenido de arena ya que a mayor contenido de arena menor es la porosidad lo que se refleja en densidades altas. Se observa también la existencia de cambios significativos en la capacidad de retención de humedad a pF 0 ($p= 0,114$) con un promedio de $0,59 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, pF 0,5 con $0,57 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, pF 1,5 con $0,52 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ y pF 4,2 con un valor de $0,29 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, además se evidencian alteraciones poco significativas en los pF 2,3 y 3,4 ($p= 0,228$) presenciando valores promedios de $0,46 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ y $0,44 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ respectivamente, todos los puntos pF resultan ser menores a valores de suelos de bosque. Debido a la relación existente entre los contenidos de arena y humedad en el suelo Sánchez et al. (2008) mencionan que la capacidad de retener agua es menor en un suelo en el que predominan las partículas de textura gruesa (arena) ya que impide el almacenamiento de agua.

La conductividad hidráulica saturada ($p= 0,228$) resulta ser poco significativa con un valor de $1,35 \text{ cm/h}$ resultando ser levemente menor a suelos de cobertura natural esto se relaciona con la corta prolongación de raíces las cuales no llegan hasta horizontes subsuperficiales, característica que presenta la vegetación boscosa (Azagra, 2006), al mismo tiempo puede deberse al cambio poco significativo ($p= 0,200$) del Na el que presenta una cantidad promedio de $0,04 \text{ meq/100}$ el cual resulta ser mayor a lo observado en suelos bajo cobertura forestal, este desbalance impide la unión de las partículas del suelo y facilita su migración ocupando los espacios de los poros, a la vez que hay un incremento en la densidad y disminución en la capacidad del suelo para transmitir agua (Irurtia y Peinemann, 1986). Por otra



parte el incremento de salinidad resulta en un cambio poco significativo en Al+H ($p=0,200$) con 4,82 meq/100ml el cual disminuye en comparación a endopedones bajo cobertura natural, a pesar del cambio en Al+H no se evidencian alteraciones significativas en pH como tampoco en MO ($p>0,250$), las pérdidas de aluminio también pueden ser causadas por la aplicación de abonos orgánicos lo que involucra el proceso de descarboxilación durante la descomposición de la MO en el que hay consumo de protones, así también el contenido de CaCO_3 en orina y estiércol proveniente de animales contribuyen a la reducción de Al que generalmente se concentra en mayor grado en capas subsuperficiales (Mokolobate y Haynes 2002).

6.4.2. Efecto de la deforestación en los endopedones bajo pasto con manejo

Los suelos de los endopedones bajo pasto con manejo evidencian una alteración significativa ($p=0,114$) en limo y conductividad hidráulica saturada los que presentan promedios de 22% y 1,22 cm/h respectivamente, cantidades menores a lo descrito en suelos de bosque atribuyéndose al hecho de que las raíces de gramíneas y leguminosas encontradas en la zona de estudio no son capaces de extenderse hasta horizontes profundos como lo hacen las raíces de la vegetación arbórea las que generan conductos que llegan hasta el subsuelo permitiendo el rápido movimiento del agua dentro del perfil como lo mencionó Azagra (2006) anteriormente. En otro sentido se observa un cambio poco significativo en densidad aparente ($p=0,171$) con un valor promedio de 1,05 g/cm³ resultando ser mayor a lo registrado en suelos bajo cobertura natural el efecto causado en densidad se relaciona con el tipo de minerales del material parental como también con la migración y depósito de arcilla en horizontes profundos lo cual reduce el espacio vacío entre las partículas del suelo (Porta et al., 1994).

El valor obtenido en Al+H resulta ser poco significativo ($p=0,163$) con 3,42 meq/100ml el cual es menor a lo encontrado en suelos bajo bosque de neblina montano hecho relacionado con un proceso de alcalinidad del suelo



ya que el Na posee una diferencia altamente significativa ($p= 0,012$) con un promedio de 0,05 meq/100ml resultando ser mayor a los contenidos en horizontes subsuperficiales no intervenidos caso similar se registra en P con una alteración poco significativa ($p= 0,109$) presentando un promedio de 3,56 ppm. También se observa un cambio poco significativo en SB ($p= 0,230$) con un dato promedio de 52,62% y en CIC ($p= 0,163$) que posee un promedio de 26,31 meq/100g resultando ser más bajos que en endopedones de bosque, por otro lado existen cambios significativos en Zn ($p= 0,072$) al que le corresponde un valor promedio de 3,29 ppm siendo menor a los datos encontrados en suelos bajo cobertura forestal nativa, se observa también que Fe muestra una diferencia significativa ($p= 0,109$) con un promedio de 174,53 ppm que resulta ser mayor a los observado en el suelo bajo bosque.

6.4.3. Efecto de la deforestación en los endopedones bajo cultivo

En los horizontes subsuperficiales bajo cultivo la conductividad hidráulica saturada presenta un cambio poco significativo ($p= 0,228$) con un valor promedio de 0,98 cm/h siendo menor al valor de suelos de bosque, el cambio es provocado por el incremento de la resistencia de los poros a la infiltración del agua. En cuanto a materia orgánica no se evidencian alteraciones significativas ($p> 0,250$) sin embargo existe una tendencia a disminuir lo que ha influenciado en que los valores de contenido de humedad a pF 0,5 y 1,5 muestren cambios poco significativos ($p= 0,228$) con promedios $0,6 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ y $0,53 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ respectivamente, como también ha repercutido en cambios significativos en pF 2,3 y 3,4 ($p= 0,114$) representado por datos de $0,45 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ y $0,39 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ respectivamente, estos valores se muestran menores a los registrados bajo suelos de bosque, al mismo tiempo los puntos pF podrían estar siendo afectados por un cambio significativo en Na ($p= 0,114$) con un promedio de 0,05 meq/100ml ya que los altos contenidos de este elemento causan perturbación en las partículas del suelo limitando la capacidad de movimiento y retención de agua, el valor encontrado en Na resulta ser mayor con respecto a los valores de horizontes subsuperficiales bajo bosque de neblina montano.

En cuanto a la conductividad eléctrica es evidente una alteración significativa ($p= 0,114$) presentando un acenso en relación a suelos no intervenidos a la vez variables como: K, NO_3 y B presentan un grado de alteración poco significativo ($p= 0,228$) las mismas que presentan promedios de 0,41 mmhos/cm, 0,48 meq/100ml, 25,33 ppm y 0,25 ppm respectivamente, resultando ser mayores en comparación a los valores en endopedones de bosque, por otro lado el Al+H es afectado de forma poco significativa ($p= 0,228$) con una cantidad promedio de 3,31 meq/100ml que resulta ser menor a los contenidos apreciados en suelo bajo bosque, el desequilibrio de los nutrientes se debe a la traslocación de los mismos desde capas superficiales hacia capas más profundas, de acuerdo con Vera (1992) el cambio de uso de suelo tiene repercusiones en endopedones afectando a las características físicas y químicas, en el caso de que los horizontes profundos presenten variaciones mínimas se podría atribuir a la capacidad amortiguadora del suelo frente a prácticas agrícolas la que reduce las cargas estáticas en capas profundas (Porta et al., 1994).

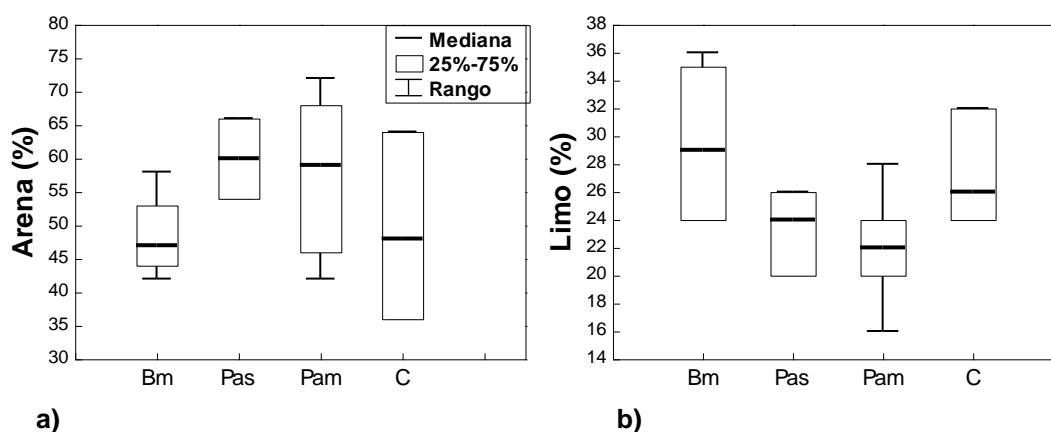


Figura 14. Diagrama de caja de variables estadísticamente significativas en endopedones: a) arena ,b) limo ,c) conductividad hidráulica saturada, d) densidad aparente, e) contenido de humedad a pF 0, e. 1) pF 0,5, e. 2) pF 1,5, e. 3) pF 2,3, e. 4) pF 3,4, e. 5) pF 4,2, f) conductividad eléctrica, g) saturación de bases, h) capacidad de intercambio catiónico, i) nitratos, j) fósforo, k) potasio, l) sodio, m) aluminio, n) hierro, o) zinc, p) boro, q) sulfatos

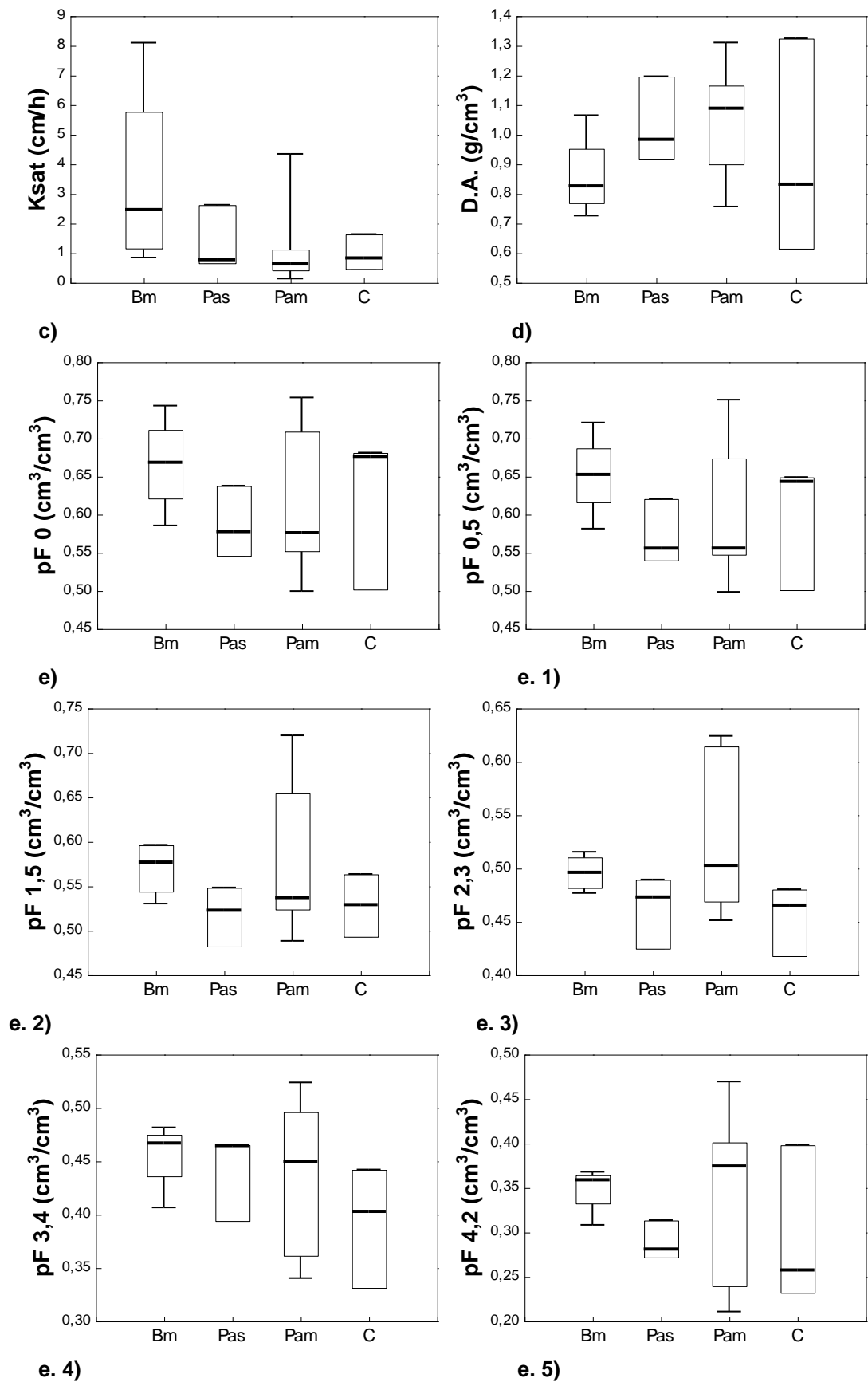
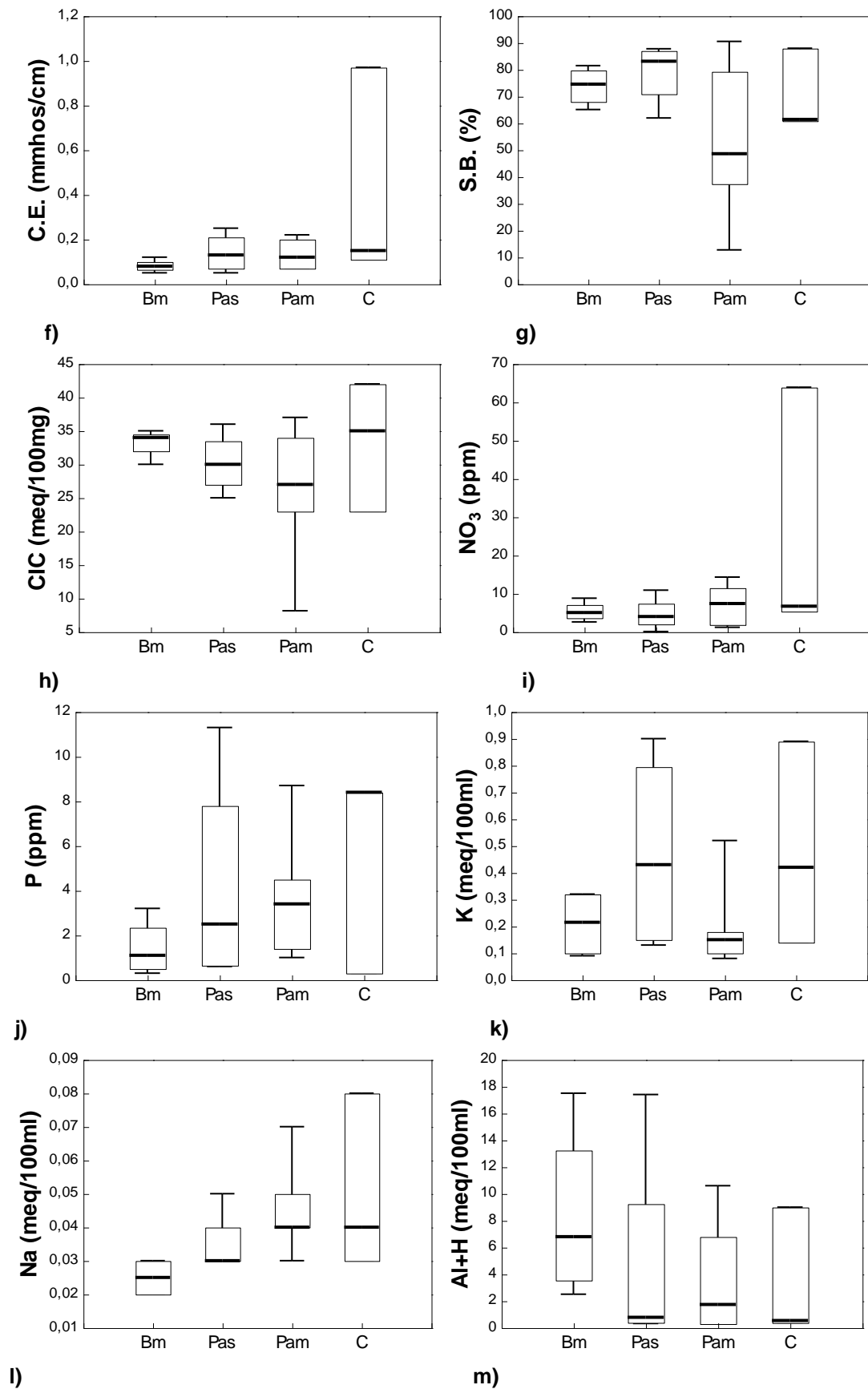


Figura 14. Continuación.



l) **Figura14.** Continuación.

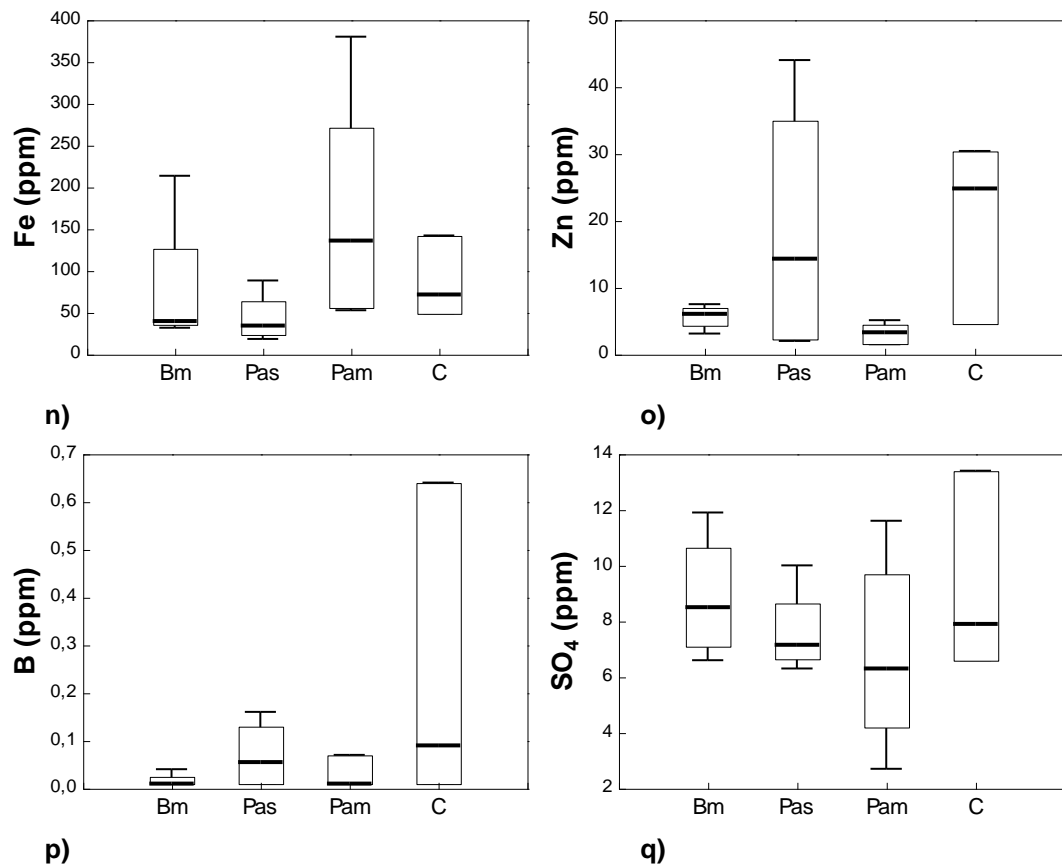


Figura 14. Continuación.

6.5. Análisis de propiedades físico-químicas en conjunto bajo endopedones

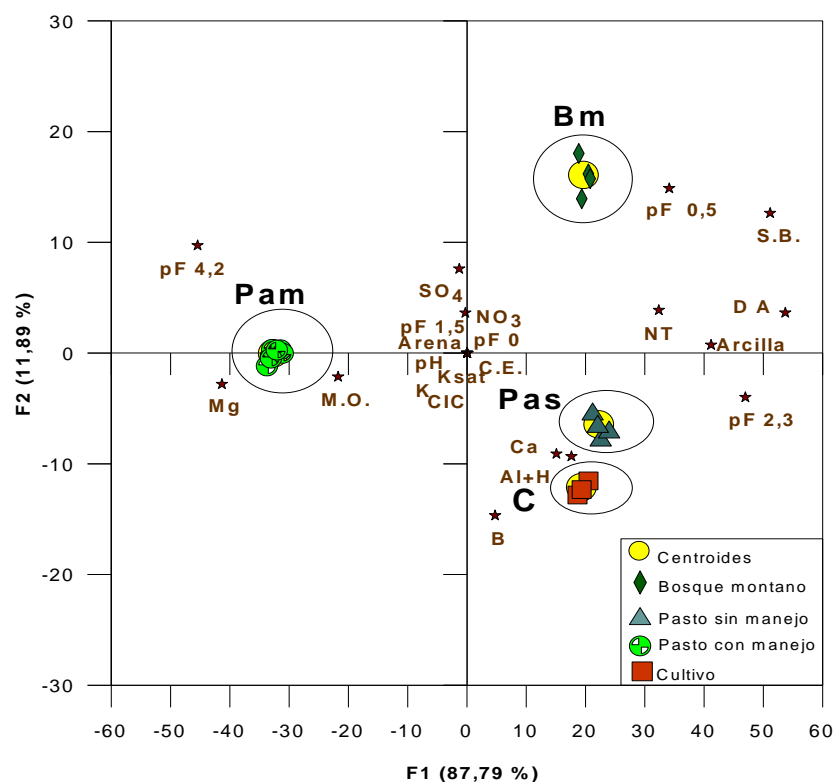


Figura 15. Distribución de las observaciones e influencia de variables de endopedones

Los endopedones bajo cobertura de pasto con manejo, pasto sin manejo y cultivo muestran diferencias y cierto alejamiento de las observaciones de bosque de neblina montano, mientras que las observaciones de pasto sin manejo y cultivo presentan proximidad la cual está influenciada por Ca, Al+H y B, tal como se identifica en la **Figura 15**, la relación encontrada entre estas coberturas se debe a la similitud de sus valores promedio. Además se observa que el factor 1 se encuentra influenciado por las siguientes variables: arcilla, densidad aparente, retención de humedad a pF (0; 2,3 y 4,2), M.O., S.B., Ca, Mg y Al+H las que contribuyen con un 87,79% de variabilidad. En el segundo factor la única variable que aporta es el boro con un 11,89% y en el factor 3 el parámetro que influye con el 1,95% corresponde a nitratos (NO_3); las variables nombradas presentan diferencias significativas en el test de U Mann-Whitney indicando que existen impactos de la deforestación sobre las mismas.



7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en las pruebas de U Mann-Whitney y análisis discriminante, indican que existen diferencias entre suelos de bosque de neblina montano y suelos bajo coberturas intervenidas, por lo que se aceptaron las hipótesis alternativas las cuales indican que el cambio de uso de suelo consecuente de la deforestación afecta tanto a las propiedades físicas como a propiedades químicas del suelo, observándose que las características se tornan alteradas ya que se obtuvo que los suelos de epipedones bajo pasto con manejo varían en mayor grado seguidos por cultivos y en último lugar pasto sin manejo, además los endopedones de las tres coberturas intervenidas presentan similar grado de alteración.

En las capas superficiales se observa una tendencia de aumento en densidad aparente, contenido de agua, a la vez que los porcentajes de materia orgánica (obtenido del análisis químico del suelo) muestran ser altos en suelos intervenidos, esto podría atribuirse a la presencia de restos o remanentes de bosques como son las cenizas de la cobertura natural quemada o presencia de raíces en proceso de descomposición y la mineralización acelerada de la materia orgánica por la amplia actividad de los microorganismos (bacterias), la misma que genera una mejor aglomeración de las partículas del suelo ya que actúa como sustancia cementante dando una mejor estructuración del suelo, pero estas características están en función del tipo de cobertura, tiempo de explotación del terreno, tipo de manejo, aplicación de enmiendas orgánicas y químicas, por lo tanto se puede identificar un mayor impacto en epipedones (horizontes superficiales) que en endopedones (horizontes subsuperficiales), notándose que un efecto del cambio de uso de suelo es la pérdida parcial o total del horizonte O, el mismo que resulta de la aportación continua de materia orgánica por parte de la vegetación boscosa sobre los primeros centímetros del perfil del suelo, esta capa orgánica disminuye significativamente



posiblemente a la rápida descomposición por presencia de elevadas temperaturas y actividad de microorganismos. Como resultado de la deforestación, el sobrepastoreo y el manejo incorrecto del recurso suelo se obtiene una importante degradación física-química en las capas edáficas.

Mediante el análisis discriminante se determina que posterior al proceso de deforestación se observa que en los horizontes superficiales el 7,59% de variables físicas resultan afectadas, siendo las siguientes: arena, arcilla, Ksat, densidad aparente, pF (0, 0,5, 1,5, 2,3 y 4,2) mientras que el 92,41% de variables químicas han presentado cierto grado de alteración correspondiendo a: pH, CE, MO, SB, Ca, Mg, Na, Al+H, P, Cu, Fe, B, SO₄, CIC, K, Zn, NH₄,NO₃, concluyendo que en epipedones las propiedades químicas han resultado más afectadas que las propiedades físicas, los diferentes cambios pueden ser causados por tasas altas de mineralización de materia orgánica, modificación en el horizonte O lo que provoca la liberación y pérdida de nutrientes de horizontes orgánicos hacia horizontes más profundos.

En cuanto a los horizontes subsuperficiales se aprecia un 55,07% de modificación en las propiedades físicas tales como: arena, limo Ksat, densidad aparente, pF (0; 0,5; 1,5; 2,3; 3,4 y 4,2), mientras que el porcentaje de alteración en propiedades químicas es del 44,93% correspondiendo a: SB, CE, CIC, Na, Al+H, K, P, Fe, Zn, SO₄, NO₃, B, determinando que en capas profundas las variables con mayor grado de alteración son las físicas. Se señala también que en la zona es común la aplicación de fertilizantes químicos que estimulan la actividad microbiana, existe también la aportación de abonos orgánicos (gallinaza, estiércol) en ciertas épocas del año dependiendo del ciclo del cultivo o de la intensidad del pastoreo, recalcando que estos suelos están en constante influencia humana caso contrario sucede en ecosistemas de bosque de neblina montano en donde el suelo se caracteriza por el aporte continuo de material orgánico originario de la misma vegetación.



7.2. RECOMENDACIONES

- Es necesario desarrollar más estudios sobre la importancia de los bosques de neblina montano debido a las múltiples funciones que cumplen dentro del ecosistema y beneficios que brindan a las comunidades.
- En próximas investigaciones similares a la presente se debería adquirir un enfoque más relevante sobre la edad de las coberturas intervenidas, su intensidad de uso o impacto, por lo que es importante determinar el proceso de cambio de uso si es largo o corto y en qué tiempo es posible identificar cambios en las propiedades del suelo.
- Los resultados indican la diferencias estadísticas entre las características de un suelo conservado sin ningún tipo de intervención con áreas en las se ha dado un cambio en su cobertura y en si del uso del suelo, ya que no se especifica o aclara que los pastos o cultivos producen un impacto positivo o negativo sobre el suelo, por lo que es necesario ampliar esta línea de investigación para que en un futuro se pueda identificar con mayor claridad la existencia de mejoramiento o degradación al provocar la conversión de un bosque de neblina montano a otro tipo de uso.
- Es importante conocer la historia del uso de la tierra como información preliminar (tiempo de deforestado, como fue el cambio de cobertura y uso de suelo hasta la actualidad, la cantidad o dosis de abonos y fertilizantes que comúnmente se aplica) para el desarrollo de proyectos a futuro, los cuales ayuden a explicar inquietudes sobre la degradación de parámetros físicos y químicos edafológicos y a la vez sería conveniente realizar estudios complementarios acerca del impacto de la deforestación sobre características biológicas del suelo.
- Resulta relevante conocer el grado de erosión tanto hídrica como eólica o por labranza que pudo producirse en los sitios de estudio



después del cambio de uso de suelo. Lo que permitirá comprender parcialmente esta compleja dinámica.

- Las diferencias encontradas en las propiedades del suelo serviría como justificativo para que las instituciones gubernamentales tomen medidas con respecto a la conservación de ecosistemas forestales nativos, los cuales cumplen un rol importante en la protección de suelo y agua, preservación de biodiversidad y sustentabilidad económica a comunidades. Al mismo tiempo es necesario que el MAGAP concientice a los agricultores sobre la importancia del correcto uso del suelo con el fin de que no se destruyan más áreas de bosque. Por último efectuar proyectos dirigidos hacia la sociedad enfatizando la importancia de la reforestación con especies nativas mediante el Ministerio del Medio Ambiente.



8. BIBLIOGRAFÍA

1. Archer, N., Quinton, J., and Hess, T. (2002). Below-ground relationships of soil texture, roots and hydraulic conductivity in two-phase mosaic vegetation in South-east Spain. *Journal of Arid Environments*, 52(4), 535-553.
2. Allen, J. y Barnes, D. (2008). The causes of deforestation in developing countries. *Annals of the Association of American Geographers*, 75(2), 163-184.
3. Aguirre, D., Ordoñez Y., y Navia, J. (Noviembre, 2010). Influencia de diferentes usos en sistemas productivos sobre la dinámica y movimiento del agua en el suelo del altiplano de pasto, Departamento de Nariño, Colombia. XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, Nariño, Colombia.
4. Ataroff, M. y Rada, F. (2000). Deforestation Impact on water Dynamics in a Venezuelan Andean Cloud Forest. *Ambio*, 29(7), 440 – 444.
5. Azagra, A. (2006). Particularización al método de los coeficientes de escorrentía. Valladolid, España.
6. Bernier, R. y Alfaro, M. (2006). *Acidez de los suelos y efecto del encalado* N° 151 [boletín]. Chile: Instituto de investigaciones agropecuarias.
7. Birch, H. (1964). Mineralization on plant nitrogen following alternate wet and dry conditions. *Plant Soil*, 20, 43-50.
8. Black, A. (1992). Soil Acidification in Urine- and Urea-affected Soil. *Australian Journal of Soil Research*, 30(6), 989-999.



9. Blum, W. (1997). Basic Concepts: degradation, resilience and rehabilitation. En Lal, R., et al. (Eds.), *Methods for Assessment of soil degradation* (pp.1-16). Florida: CRC Press Inc. Borja, P., Iñiguez, V., Crespo, P., Cisneros, P., y Cisneros, F. (Octubre, 2008). Características Físico-químicas de Histosoles y Andosoles de los páramos de Quimsacocha, Ecuador. XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, Quito, Ecuador.
10. Bosch, M., Costa, J., Cabria, F., y Aparicio, V. (2012). Relación entre la variabilidad espacial de la conductividad eléctrica y el contenido de sodio del suelo. *Ciencia del suelo*, 30(2), 95-105.
11. Bräulete, G. (2012). Análisis de las posiciones de Ecuador en relación a la iniciativa REDD (Reducción de emisiones por deforestación y degradación) después de Copenhague (Tesis de maestría). Universidad Andina Simón Bolívar sede Ecuador, Quito, Ecuador.
12. Brown, A. y Kappelle M. (2001). Introducción a los bosques nublados del geotrópico: una síntesis regional. En Kappelle, M. y Brown, A. (Eds.), *Bosques Nublados de Latinoamérica* (pp. 25-38.). Costa Rica: INBIO.
13. Bruijnzeel, S. y Hamilton, L. (2000). Decision time for cloud forests. En UNESCO (Ed.), *Water related issues and problems of the humid tropics and other warm humid regions, Decision time for cloud forests* (pp. 33-38). Francia: UNESCO.
14. Bruijnzeel, L. (2000). Hydrology of Tropical Montane Cloud Forest. Land use and water resources research, 1, 1,1-1,18.
15. Buckman, H. y Brady, N. (1966). Naturaleza y propiedades de los suelos. México: UTEHA. 590p.



16. Bussmann, R. (2003). Los bosques montanos de la Reserva Biológica de San Francisco (Zamora-Chinchipec, Ecuador) - zonación de la vegetación y regeneración natural. *Lyonia*, 3(1), 57-72.
17. Buytaert, W., Deckers, J., Dercon, G., De Bièvre, B., Poesen, J., y Govers G. (2002). Impact of land use changes on the hydrological properties of volcanic ash soils South Ecuador. *Soil use and Management*, 18(2), 94-100. DOI: 10.1079/SUM2001107.
18. Calvache, M. (Noviembre, 2010). Física de suelos y su relación con los problemas ambientales. XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, Santo Domingo, Ecuador.
19. Campillo, R. y Rodríguez, J. (1984). Efecto acidificante de las transformaciones de la urea en dos andisoles de la Región de Los Lagos. *Agricultura Técnica*, 44, 131-138.
20. Caranqui, J. (2011). Estudios básicos de bosques montanos del centro del Ecuador. Bosques montanos del centro del Ecuador, Alemania: Académica española.
21. Chiriboga, M. (2007). Análisis descriptivo del Bosque nublado de San Francisco, Zamora Chinchipe. Escuela de Gestión Ambiental. UTPL.
22. CLIRSEN (2003). La deforestación en el Ecuador, Quito.
23. Coello, C., De Bièvre, B., Pacheco, E., y Cisneros, P. (2007). Análisis de métodos de estimación de la conductividad hidráulica saturada en suelos degradados, 19p. PROMAS.



24. Consorcio del Río Jubones. (2011). Proyecto “AGUA y GOBERNANZA” apoyo para el desarrollo de los Municipios de la Mancomunidad Cuenca del río Jubones. Girón, Ecuador.
25. Desarrollo Forestal Campesino. (1997). Manejo de Bosques Nativos Andinos. Metodología para la planificación participativa. Quito, Ecuador.
26. Di, H. y Cameron, K. (2004). Effects of the nitrification inhibitor dicyandiamide on potassium, magnesium and calcium leaching in grazed grassland. *Soil Use Management*, 20(1) 2-7. DOI: 10.1079/SUM2003205.
27. Dirnböck, T., Dullinger, S., y Grabherr, G. (2003). A regional impact assessment of climate and land use change on alpine vegetation. *Journal of Biogeography*, 30(3), 401-417.
28. Don, A., Schumacher, J., y Freibauer, A. (2011). Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks - a meta-analysis. *Global Change Biology*, 17(4), 1658-1670. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2010.02336.x.
29. Dörner, J. y Horn, R. (2006). Anisotropy of pore functions in structured Stagnic Luvisols in the Weichselian moraine region in N Germany. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 169(2), 213–220.
30. Erazo, M. (1957). Apuntes sobre la geología y estructura del valle de Cuenca. *Anales de la Universidad de Cuenca*. 13(1), 157-197.
31. FAO. (2001). Lecture notes on the major soils of the world. Natural Resources Management and Environment Department.



32. FAO. (2005). Global forest resources assessment. Progress towards sustainable forest management. Rome.
33. FAO (2006). Estudio FAO Riego y drenaje. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma
34. FAO. (2007). Situación de los Bosques del Mundo. Panorama Mundial. Roma.
35. FAO. (2009). Guía para la descripción de suelos. (4). Roma.
36. Flores, I. (2010). La deforestación y su influencia en los caudales. Escuela Militar de Ingeniería, Santa Cruz, México.
37. García, M., Márquez, O., López, R., y Hernández, R. (2009). Reservas orgánicas y minerales del suelo y su afectación por la deforestación de la Selva Nublada estado de Mérida, Venezuela. *Agricultura Andina*, 16(1), 28-38.
38. González, M. (2011). Función de los bosques en el ciclo hidrológico. *Montes*, 3(106), 55-56.
39. González, A. y Dezzee, N. (2011). Efecto del cambio de bosque a pastizal sobre las características de algunos suelos en los llanos occidentales de Venezuela. *Interciencia*, 36(2), 135-141.
40. Geissert, D., Salazar, M., y Pérez, E. (2000). Propiedades físicas y químicas de un suelo volcánico bajo bosque y cultivo en Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*, 2(1), 31-34.
41. Hamer, U., Potthast, K., y Makeschin, F. (2009). Urea fertilization affected soil organic matter dynamics and microbial community



structure in pasture soils of Southern Ecuador. *Applied Soil Ecology*, 43(2-3), 226-233.

42. Hamer, U., Potthast, K., Burneo, J., y Makeschin, F. (2013). Suministro de nutrientes y fracciones de fósforo en suelos de bosque del Sur del Ecuador después de la conversión a pastos. *Biochemistry*, 112 (1-3), 495-510.
43. Hamman, S., Burke, I., y Knapp, E. (2008). Soil nutrients and microbial activity after early and late season prescribed burns in a Sierra Nevada mixed conifer forest. *Forest Ecology and Management*. 256(3), 367-364.
44. Herrera, P., Amézquita, E., Guerrero, L., y Restrepo, L. (1991). Efecto de la labranza en algunas propiedades físicas de un suelo andino. *Suelos Ecuatoriales*, 19(1), 68 – 75.
45. Hofstede, R. (1995). The effects of grazing and burning on soil and plant nutrient concentrations in Colombia paramo grasslands. *Plant and soil*, 173(1), 111-132.
46. Hofstede, R., Lips, J., y Jongsma, W. (1998). Geografía, Ecología y Forestación de la Sierra alta del Ecuador. Quito: Abya – Yala.
47. Holdrige, L. (1967). Life zone ecology. Tropical Science Center of Costa Rica, 106p.
48. Hostettler, S. (2002). The Tropical Montane Cloud Forests: a challenge for conservation. Dossier montane forests/ conservation, 274(4), 19-31.



49. Hungerbuhler, D. (1997). Neogene basins in the Andes of southern Ecuador: evolution, deformation and regional tectonic implications. (Tesis Doctoral). University of Zurich, Suiza.
50. Irurtia, C. y Peinemann, N. (1986). Efecto de la relación de adsorción de sodio y la concentración de sales sobre la conductividad hidráulica de diferentes suelos. *Ciencia del suelo*, 2, 166-176.
51. Jarrett, A. R., & Hoover, J. R. (1985). Evaluating the effect of increased concentrations of CO₂ on infiltration rate. *Transactions of the ASAE-American Society of Agricultural Engineers*, 28.
52. Jaramillo, D. (2002). Introducción a la Ciencia del Suelo. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
53. Jaramillo, V., Kauffman, J., Rentería- Rodríguez, L., Cummings, D., y Ellingson, L. (2003). Biomass, carbon, and nitrogen pools in Mexican tropical dry forest landscapes. *Ecosystems*, 6, 609-629. DOI: 10.1007/s10021-002-0195-4.
54. Jenkinson, D. S. (1966). Studies of the decomposition of plant material in soil. II. Partial sterilization of soil and the soil biomass. *Journal of Soil Science*, 17(2) 280-302.
55. Jiménez, L., Mezquida, E., Benito, M., y Sánchez, A. (2008). Fertilidad del suelo de bosques tropicales y pastizales de uso ganadero en el sur del Ecuador. *Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 25, 241-245.
56. Jorgensen, P, Ulloa, C., Madsen, J., y Valnua, R. (1995). A floristic analysis of high Andes of Ecuador. En Churchill, S, Balslevi, H., Forero, E. y Luteyn, J. (Eds.). *Biodiversity and Conservation of Neotropical montane forest* (pp. 221-237). New York: Botanical Garden.



57. Kapos, V., Rhind, J., Edwards, M., Price, M., y Ravilious, C. (2000). Developing a map of the world's mountain forests. En Price, M. y Butt, N. (Eds.). *Forests in sustainable mountain development a state of knowledge report for 2000* (pp.4-9). London: CABI publishing.
58. Kennedy, A. y Smith, K. L. (1995). Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils. *Plant and soil*, 170(1), 75-86.
59. Kiss, K. y Bräuning, A. (2008). El bosque húmedo de montaña. Investigación de la diversidad de un ecosistema en el Sur del Ecuador, 64p. Loja, ECSF.
60. Kriström, B., Boman, M., y Kengen, S. (2001). Valuing the multiple functions of forest. *World Forest*, 3, 149-161.
61. Lal, R. (1996). Deforestation and land-use effects on soil degradation and rehabilitation in western Nigeria. II. Soil chemical properties. *Land degradation and development*, 7(2), 87-98.
62. Lara, A., Soto, D., Armesto, J., Donoso, P., Wernli, C., Nahuelhual, L., y Saqueo, F. (2003). Componentes científicos claves para una política nacional sobre usos, servicios y conservación de los bosques nativos chilenos, Valdivia: Eaf Impresos.
63. León, A. (2008). Inventario de la Herpetofauna del Bosque Protector Río Guajalito, un bosque nublado montano del occidente de la Provincia de Pichincha, Ecuador (Tesis de maestría). Universidad San Francisco de Quito, Ecuador.
64. Liess, M., Glaser, B., y Huwe, B. (2009). Digital soil mapping in southern Ecuador. *Erdkunde*, 309-319.



65. Lozano, P., Bussmann, R., y Küppers, M. (2007). Diversidad florística del bosque montano en el Occidente del Parque Nacional Podocarpus, Sur del Ecuador y su influencia en la flora pionera en deslizamientos naturales. *Revista Científica UDO Agrícola*, 7(1): 142-159.
66. López, R. (2002). Degradación del suelo causas y procesos evaluación e investigación. Mérida: CIDIAT SC75.
67. Malmer, A. y Griph, H. (1990). Soil disturbance and loss of infiltrability caused by mechanized and manual extraction of tropical rainforest in Sabah, Malaysia. *Forest Ecology and Managament*, 38 (1-2), 1-12.
68. Mergen, F. y Malcom, R. (1995). Effects of hemlock and red pille on physical and chemical properties of succession. *Journal of Soil Science*. 36, 571-584
69. Meyer, L.D., Dabney, S.M., y Harmon, W.C. (1995). Sediment- trapping effectiveness of stiff- grass hedges. *ASABE*, 30(3), 809-815.
70. Mokolobate, M., & Haynes, R. (2002). Comparative liming effect of four organic residues applied to an acid soil. *Biology and Fertility of Soils*, 35(2), 79-85.
71. Montagnini, F. (1992). Sistemas agroforestales: principios y aplicaciones en los trópicos. Bolivia.
72. Montenegro, H. y Malagón, D. 1990. Propiedades físicas de los suelos. Instituto Geográfico "Agustín Codazzi". Bogotá. 813 p.
73. Ministerio del Medio Ambiente. (2009). Política Ambiental Nacional. Español. Quito, Ecuador.



74. Ministerio del Ambiente. (2012). Programa Socio Bosque: Línea Base de Deforestación del Ecuador Continental, Quito, Ecuador.
75. Morocho, D. y Romero, J. (2003). Bosques del sur, El estado de 12 remanentes de bosques andinos de la provincia de Loja. *Fundación Ecológica Arcoiris/PROBONA/DICA*, 134p.
76. Mortland, M. (1970). Clay-Organic and interactions. En Brady, N. (Ed.). *Advances in Agronomy*. (pp. 75-118). Nueva York. Academic Press.
77. Nortcliff, S. 2010. Soil biology and agriculture in the tropics. En Dion, P. (Eds.) *Soil Biology and Agriculture in the Tropics*. (pp. 1-15). Berlin: Springer. DOI: 10.1007/978-3-642-05076-3_1.
78. Ochoa, P., Martínez, F., y Maza, C. (Octubre, 2008). Degradación de duelos con diferente uso en la subcuenca del río Zamora Huayco, Loja-Ecuador. XI Congreso ecuatoriano de la ciencia del suelo. Quito, Ecuador.
79. Osorio, A. y Bahamon, C. (2008). Dinámica de la Humedad del suelo en Bosque alto andino en el páramo de Guerrero, Cundinamarca-Colombia (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
80. Ovalles, P. (2011). Identificación de las causas de la deforestación y la degradación de los bosques en la República Dominicana (informe final). Recuperado del sitio de internet de programa REDDCCAD/GIZ en Centroamérica y República Dominicana: <https://www.forestcarbonpartnership.org/sites/forestcarbonpartnership.org/files/Documents/PDF/Jan2013/Informe%20final%20Causas%20Deforestacion%20Rep.%20Dominicana%2005.09.11.pdf>



81. Oyarzún, C., Huber, A., Peñaloza, R., y Sanzana, R. (1997). Evaluación de la erosión del suelo mediante parcelas experimentales en suelos volcánicos del sur de Chile. In *Suelos volcánicos endurecidos. Simposio internacional* (pp. 406-411).
82. Parde, J. (1978). El microclima del bosque. En Pesson, P. (Ed.), *Ecología forestal* (pp. 29-46). Madrid: Mundi - Prensa.
83. Pratt, W., Figueroa, J., y Flores, B. (1997). Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental. *Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador*. Quito – Ecuador.
84. Percy, K., Jandl R., Hall, J., y Lavigne, M. (2003). El papel de los bosques en ciclo, la captura y almacenamiento del carbono. Los bosques y el ciclo del carbono a nivel mundial: fuentes y sumideros, 1. Recuperado de <http://iufro.boku.ac.at/iufro/taskforce/hptfcs.htm>.
85. Porta, J., López Acevedo, M., & Roquero, C. (1994). Degradación de suelos y calidad ambiental. *Edafología Para La Agricultura Y El Medio Ambiente*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 807p.
86. Potthast, K., Hamer, U., y Makeschin, F. (2011). Land-use change in a tropical mountain rainforest region of southern Ecuador affects soil microorganisms and nutrient cycling. *Biogeochemistry*, 1-17.
87. Quichimbo, P., Tenorio, G., Borja, P., Cárdenas, I., Crespo, P., y Céleri, R. (2012). Efectos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: Páramo de Quimsacocha al sur del Ecuador. *Suelos Ecuatoriales*, 42(2), 138-153.



88. Quintero, C, Boschetti, G., y Benavidez, R. (1999). Phosphorus retention in some soils of the Argentinean Mesopotamia. *Communications in Soil Science y Plant Analysis*, 30(9-10), 1449-1461.
89. Romero, C. (1999). *Epífitas no vasculares comerciales de un bosque montano tropical: ecología, efectos de la tala y manejo*. Costa Rica: CATIE.
90. Sanabria, V. (2001). Los bosques tropicales nublados de montaña en la quebrada Torohuaca, San Ignacio, Cajamarca y su influencia en la precipitación local. (Tesis de pregrado). UNALM, Perú.
91. Sánchez, V., Castelán, R., y Tamariz, J. (2008). Variación de las propiedades fisicoquímicas como respuesta al establecimiento de distintas actividades agropecuarias en los luvisoles de la sierra norte de Puebla. *Latinoamericana de Recursos Naturales*, 4 (2), 259-268
92. Schlegel, B. (Octubre, 2001). Estimación de la biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempreverde. Simposio internacional medición y monitoreo de la captura de c en ecosistemas forestales, Universidad Austral de Chile, Chile.
93. Sharpley, A. (1985). The selection erosion of plant nutrients in runoff. *Soil Science Society of America Journal*, 49(6), 1527-1534.
94. Sierra, R. (1999). Propuesta preliminar de un Sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador continental. Proyecto INEFAN/GEF y EcoCiencia. Quito, Ecuador.



95. Silva, A., Libardi, P., y Camargo, O. (1986). Influência da compactação nas propriedades físicas de dois latossolos. *Ciência do Solo do Brasil*, 10, 91-95.
96. Stadtmüller, T. (1987). Cloud Forests in the Humid Tropics. A bibliographic review. United Nations University. Tokio y CATIE. Turrialba, Costa Rica.
97. Steinmann, M. (1997). The Cuenca basin of southern Ecuador: tectono-sedimentary history and the Tertiary Andean evolution. (Tesis doctoral) Institute of Geology. Switzerland, Switzerland.
98. Thompson, L. y Troeh, F. (1988). Los suelos y su fertilidad. Barcelona: Reverté S. A. 649p.
99. Tirira, D. y Boada, C. (2009). Diversidad de mamíferos en bosques de Ceja Andina alta del nororiente de la provincia de Carchi, Ecuador, 8(4-5), 1-24.
100. Tobón, C. (2009). Los bosques andinos y el agua. Quito-Ecuador: Programa Regional ECOBONA – INTERCOOPERATION, CONDESAN.
101. Turner, I., Chua K., Ong, J., Soong, B., y Tan, H. (1996). A century of plants species loss from an isolated fragment of lowland tropical rain forest. *Conservation Biology*, 10(4), 1229-1244.
102. USDA (2000). *Preocupación acerca del Recurso de Calidad del Suelo: Hidrofobicidad*. Washington: Departamento de Agricultura de Estados Unidos.



103. Vera, M. (1992). Incidencias del manejo tradicional sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de un vertic trophumult en ambiente bioclimático de selvas nubladas. *Agronomía Tropical*. 42(1-2), 5-25.
104. Vera, M. y López, R. (1995). Estabilidad estructural de suelos en zona de selvas nubladas de los andes de Mérida, Venezuela. *Venesuelos*, 3(1), 37-45. *European Journal of Soil Science*, 53, 15-27.
105. WRB. (2007). Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Un marco conceptual para clasificación, correlación y comunicación internacional (Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103). Roma: FAO.
106. Wilcke, W., Yasin, S., Abramowski, U., Valarezo, C., y Zech, W. (2002). Nutrient storage and turnover in Organic layers under tropical montane rain forest in Ecuador. }
107. Wilcke, W., Valladarez, H., Stoyan, R., Yasin, S., Valarezo, C., y Zech, W. (2003). Soil properties on a chronosequence of landslides in montane rain forest, Ecuador. *Catena*, 53(1), 79-85.
108. Wilcke, W., Yasin, S., Schmitt, A., Valarezo, C., y Zech, W. (2008). Soils along the altitudinal transect and in catchments. En Beck, E., Bendix, J., Kattke, I., Makeschin, F y Mosandl, R. (Eds.), *Gradients in a Tropical Mountain Ecosystem of Ecuador* (pp. 75-85). Berlin: Springer Berlin Heidelberg.
109. Williams, R. y Cooke, G. (1961). Some effects of farmyard manure and grass residues on soil structure. *Soil Science*, 92(1), 30-39.



110. Wunder, S. (2000). The economics of deforestation: the example of Ecuador, Great Britain: Macmillan press Ltd.
111. Porta, J., López Acevedo, M., & Roquero, C. (1994). Degradación de suelos y calidad ambiental. *Edafología Para La Agricultura Y El Medio Ambiente*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 807p.
112. Zapata, H. (2004). Química de la acidez del suelo. Primera edición. Cali, Colombia, 2002. 208p. *Alfonso Y López, Venesuelos 9 (1-2), 38- 47*.
113. Zech, W., Willcke, W., y Valarezo, C. (1999). Influencia del uso del suelo en las propiedades del suelo y de elementos en los elementos en los bosques montañosos del Sur del Ecuador. Informe de los resultados del periodo 1997-1999. Loja, Ecuador.



9. GLOSARIO

AGUA APROVECHABLE Y RÁPIDAMENTE APROVECHABLE: el agua aprovechable (AA) es la cantidad de agua retenida en el suelo entre capacidad de campo (pF 2,52) y punto de marchitez permanente (pF 4,2), siendo la principal fuente de agua para el desarrollo de las plantas (Mejía, 2003).

AGUA GRAVITACIONAL: ocupa los macroporos del suelo, la misma que se pierde por fuerza de la gravedad, puede estar retenida a presiones 1,8 y 2,5 hasta 3 pF, Este tipo de agua se mueve durante 10 a 30 días dentro del suelo (Mejía, 2003).

CAPACIDAD DE CAMPO (CC): es la cantidad de agua que un suelo retiene contra la gravedad cuando se la deja drenar libremente (después de un riego intenso o fuertes lluvias) durante 48 horas. Según la USDA la capacidad de campo corresponde a la cantidad de agua que el suelo retiene a una succión de $pF = 2.52$ o 0,33 bar (Mejía, 2003).

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CAT IÓNICO: se refiere a la cantidad total de cargas negativas que están disponibles sobre la superficie de las partículas en el suelo, siendo un indicador del potencial del mismo para retener e intercambiar nutrientes, esta capacidad afecta directamente a la cantidad y frecuencia de aplicación de fertilizantes.

DEFORESTACIÓN: En países en vías de desarrollo la deforestación se debe al cambio en el uso del suelo y la consiguiente transformación de bosques nativos en zonas agrícolas y pecuarias, como resultado de una presión demográfica sobre el uso de los recursos naturales y de un aprovechamiento inadecuado de la tierra (FAO, 1993).

ENDEMISMO: Definida como la tendencia de algunas plantas y animales a limitarse de manera natural a una zona determinada dentro de la cual se



dice que son propias de ese lugar, el endemismo es el resultado de la combinación de evolución y aislamiento geográfico.

ENDOPEDÓN: Horizontes que se forman por debajo de un horizonte A o de una capa de hojarasca (horizonte O). Resultado de procesos de meteorización de la madre roca o de la translocación de sustancias movilizadas de la parte superior del suelo y acumuladas en el endopedón (Porta, et al, 2003).

EPIPEDÓN: Horizonte que se forma en o cerca de la superficie del suelo y en el que la mayor parte del material parental ha sido meteorizada o descompuesta. Esta oscurecido por la acumulación de materia orgánica o muestra evidencias de procesos de eluviación o ambas (USDA, 2006)

EROSIÓN: Consiste en la desintegración de los agregados del suelo por la acción de desgaste, acarreo o transporte y depositación de material intemperizado. El intemperismo y la erosión son agentes externos que actúan juntos y modifican el relieve terrestre (Fundación Hogares Juveniles Campesinos, 2002).

ESCORRENTÍA SUPERFICIAL: Agua procedente de la lluvia que circula por la superficie y se concentra en los cauces. La escorrentía superficial está en función de la topografía, geología, clima y vegetación de la cuenca y está estrechamente ligada a la relación entre aguas superficiales y subterráneas de la cuenca (Porta, et al, 2003)

HORIZONTE ORGÁNICO: Los horizontes O de suelos bajo bosques suelen están formados por materiales forestales no descompuestos o parcialmente descompuestos como hojas, ramillas, musgos y líquenes que han sido depositados en la superficie del suelo, pudiendo encontrarse sobre suelos orgánicos o minerales (Gisbert el al, sn).



LIXIVIACIÓN: Migración más o menos continua de un elemento del suelo por acción de un agentes químicos (Porta et al, 1999).

METEORIZACIÓN: Es el proceso general que experimentan los materiales en la corteza, como respuesta a las condiciones de contacto o proximidad con la atmósfera, hidrósfera y biósfera, produciéndose transformaciones físicas y químicas (Brunsden, 1979).

MINERALIZACIÓN: La mineralización consiste en la transformación de un elemento desde la forma orgánica a forma inorgánica, por actividad de microorganismos (INTA, 1990).

PODER AMORTIGUADOR DEL SUELO: El suelo se opone a las variaciones bruscas del pH cuando se le incorporan ácidos o bases.

- Los suelos ácidos están tamponados frente a las bases en la medida en que la capacidad de cambio sea elevada. (Formaciones Superficiales – Geología, 2002).
- Los suelos bien tamponados frente a los ácidos son los que contienen abundante calcio.
- Los suelos mejor tamponados son lo que contienen mucha materia orgánica y caliza activa. Su pH varía de 6,5 a 7,5.

PUNTO DE MARCHITES PERMANENTE (PMP): se considera así al punto en el que las raíces de las plantas presentan dificultad para absorber agua experimentando marchites irreversible, es decir que la planta ya no se recupera cuando su medio esta en saturación. El agua del suelo disminuye de la capacidad de campo a causa de la evaporación y transpiración de las plantas. Se considera PMP del suelo a una presión de 4,2 pF (Mejía, 2003).

PUNTO DE SATURACIÓN: valor de tensión de un cm (pF= 0), equivale al contenido de agua del suelo en la condición de saturación, lo cual significa que este valor es prácticamente similar a la porosidad total. Donde no existe ningún tipo de succión o presión (Mejía, 2003).

10. ANEXOS

ANEXO 1. Sitios de muestreo de la parte baja de la microcuenca del río Zhurucay

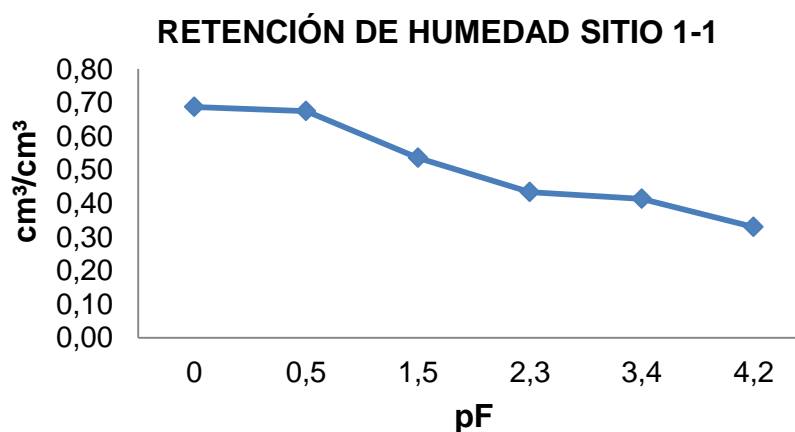
SITIO 1

Código: Zh-Cm-Si-1-1	
Localización (Sector): Zhurucay parte baja	Altura: 3038 m s.n.m
Fecha: 25/07/2012	Pendiente: 6%
Coordenadas UTM: X 0697908;Y 9656008	Tipo de suelo: Phaeozem
Posición fisiográfica: Ladera baja	Erosión/tipo: Nula
Posición con respecto al paisaje: Baja	Cobertura/uso del suelo: Cultivos
Observaciones: Cultivo asociado de haba y maíz.	



HORIZONTES

Código: Zh-Cm-Si-1-1	Textura: Franco arcilloso
Horizonte: Ap	Presencia de raíces: Baja
Profundidad: 50 cm	Presencia de piedras: Baja
Color: 10 YR 3/2	Estructura: Migajón



SITIO 2

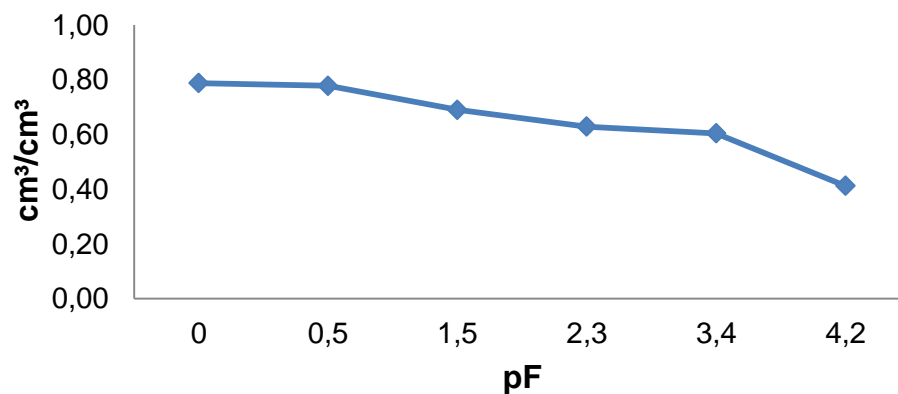
Código: Zh-C-Si-2-1	
Localización (Sector): Zhurucay. Cerca del campamento base, propiedad del Sr. Hernández	Altura: 3323 m n.s.m
Fecha: 25/07/2012	Pendiente: 45-50%
Coordenadas UTM: X 0697468; Y 9657221	Tipo de suelo: Umbrisol
Posición fisiográfica: Ladera media	Erosión/tipo: Media
Posición con respecto al paisaje: Media	Cobertura/uso del suelo: Cultivo
Observaciones: Presencia de cultivos ya cosechados como cebolla, col, melloco. También existen especies como gañal, pasto azul, mora.	



HORIZONTES

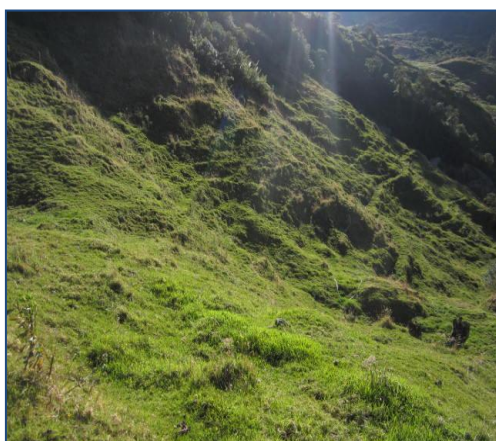
Código: Zh-C-Si-2-1	Textura: Franco arenoso
Horizonte: Ap	Presencia de raíces: Media-delgadas
Profundidad: 60 cm	Presencia de piedras: Media
Color: 10 YR 3/2	Estructura: Migajón

RETENCIÓN DE HUMEDAD SITIO 2-1



SITIO 3

Código: Zh-Pas-Si-3-1	
Localización (Sector): Zhurucay parte baja	Altura: 3139 m n.s.m
Fecha: 26 /07/2012	Pendiente: 50-55%
Coordenadas UTM: X 0697767; Y 9656229	Tipo de suelo: Umbrisol
Posición fisiográfica: Ladera media- convexa	Erosión/tipo: Baja
Posición con respecto al paisaje: Media	Cobertura/uso del suelo: Pasto sin manejo
Observaciones: Vegetación: 85% kikuyo, 10% trébol, 5% pasto azul.	



HORIZONTES

Código: Zh-Pas-Si -3-1	Textura: Franco arenoso
Horizonte: C	Presencia de raíces: Media
Profundidad: 40 cm	Presencia de piedras: Media
Color: 2,5 Y 4/4	Estructura: Bloque



SITIO 4

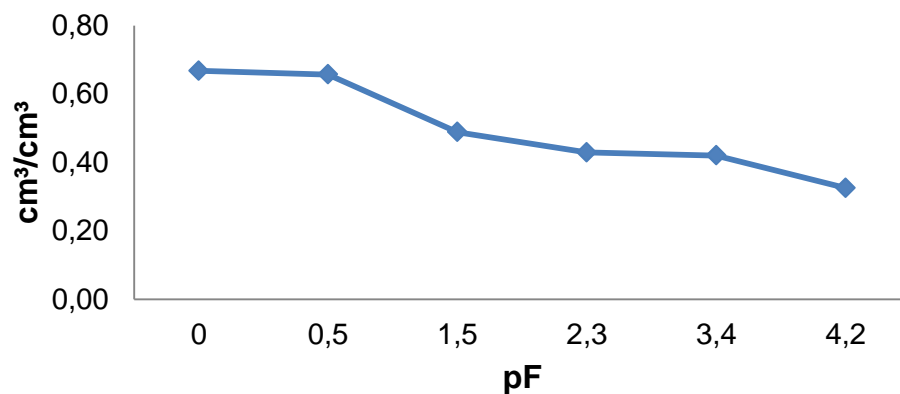
Código: Zh-Bm-Cm-4-1	
Fecha: 26/07/12	Altura: 3130 m s.n.m
Localización (Sector): Zhurucay parte baja	Pendiente: 60-65%
Coordenadas UTM: X 0697730; Y 9656248	Tipo de suelo: Phaeozem
Posición fisiográfica: Ladera media	Erosión/tipo: Baja
Posición con respecto al paisaje: Media	Cobertura/uso del suelo: bosque de neblina montano
Observaciones: Vegetación helechos, huicundos, suro. Malezas como la atugzara.	



HORIZONTES

Código: Zh-Bm-Cm-4-1	Textura: Franco arcilloso
Horizonte: A	Presencia de raíces: Alta-delgadas
Profundidad: 60 cm	Presencia de piedras: Media
Color: 7,5 YR 2/2	Estructura: Migajón

RETENCIÓN DE HUMEDAD SITIO 4-1



SITIO 5

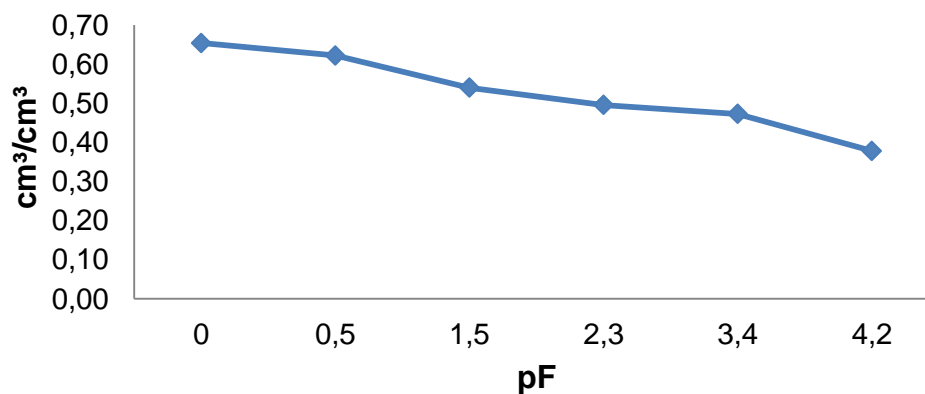
Código: Zh-Bm-Cm-5-1; Zh-Bm-Cm-5-2	
Localización (Sector): Zhurucay-Cristal alto	Altura: 2994 m s.n.m
Fecha: 25/07/2012	Pendiente: 22%
Coordenada UTM: X 0697418; Y 9655408	Tipo de suelo: Phaeozem
Posición fisiográfica: Ladera media	Erosión/tipo: Baja
Posición con respecto al paisaje: Media	Cobertura/uso del suelo: bosque de neblina montano
Observaciones: Bosque montano, plantas nativas. Plantas nativas herbáceas y semileñosas, densidad entre árbol y árbol de 4 – 5 metros.	



HORIZONTES

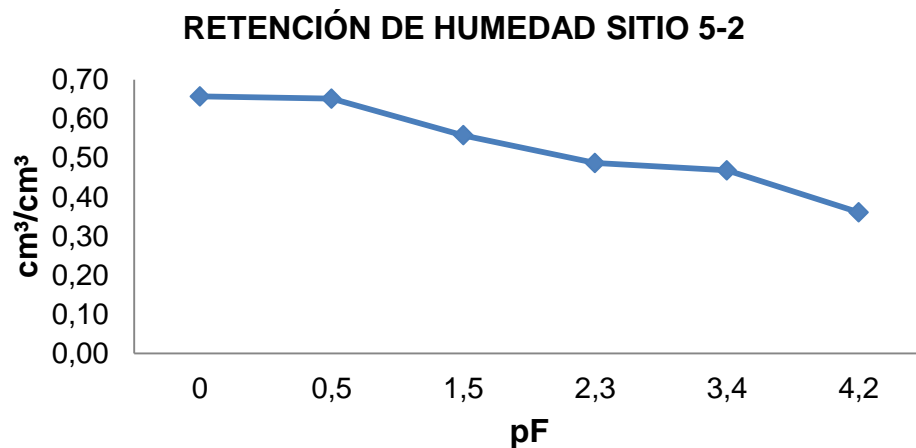
Código: Zh-Bm-Cm-5-1	Textura: Arcillosos-Franco arcilloso
Horizonte: A	Presencia de raíces: Media-delgadas
Profundidad: 20 cm	Presencia de piedras: Baja
Color: 10 YR 3/2	Estructura: Migajón

RETENCIÓN DE HUMEDAD SITIO 5-1



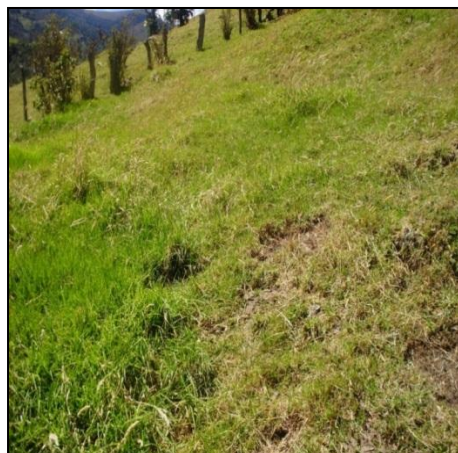


Código: Zh-Bm-Cm-5-2	Textura: Franco
Horizonte: B	Presencia de raíces: Media-delgadas
Profundidad: 50 cm	Presencia de piedras: Baja
Color: 10 YR 4/4	Estructura: Bloque



SITIO 6

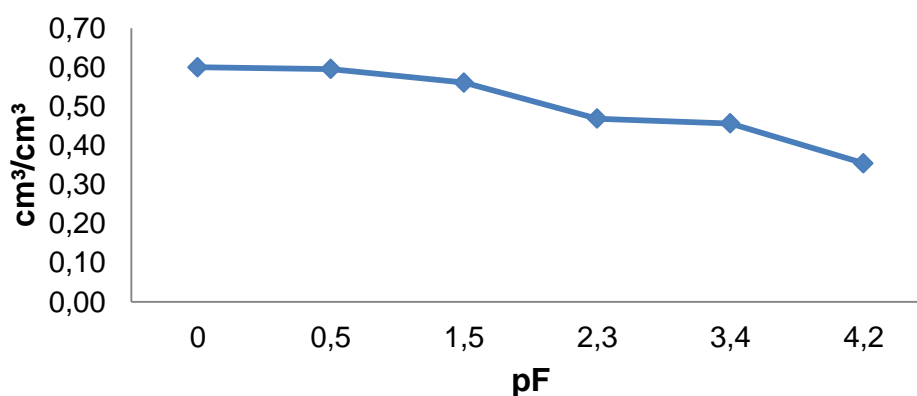
Código: Zh-Pas-Si-6-1	
Localización (Sector): Zhurucay – Cristal alto	Altura: 2955 m n.s.m
Fecha: 26/07/2012	Pendiente: 23%
Coordenadas UTM: X 06972266; Y 9657019	Tipo de suelo: Phaeozem
Posición fisiográfica: Ladera media	Erosión/tipo: Nula
Posición con respecto al paisaje: Media	Cobertura/uso del suelo: Pasto sin manejo
Observaciones: Pasto sin manejo, cerca de un bosque de neblina montano	



HORIZONTES

Código: Zh-Pas-Si-6-1	Textura: Franco arcilloso
Horizonte: A	Presencia de raíces: Alta-delgadas
Profundidad: 50cm	Presencia de piedras: Baja
Color: 7,5 YR 3/2	Estructura: Granular

RETENCIÓN DE HUMEDAD SITIO 6-1



SITIO 7

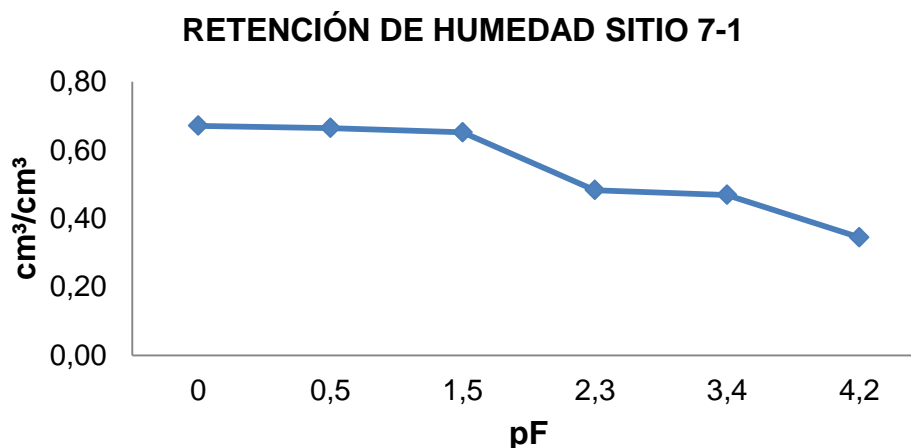
Código: Zh-Cp-Si-7-1	
Localización (Sector): Zhurucay – Cristal alto	Altura: 3030 m s.n.m
Fecha: 26/07/2012	Pendiente: 2%
Coordenadas UTM: X 0697983; Y 9655786	Tipo de suelo: Umbrisol
Posición fisiográfica: Ladera baja	Erosión/tipo: Nula
Posición con respecto al paisaje: Baja	Cobertura/uso del suelo: Cultivo de papas
Observaciones: Cultivo de papas, cerca de una casa en construcción.	





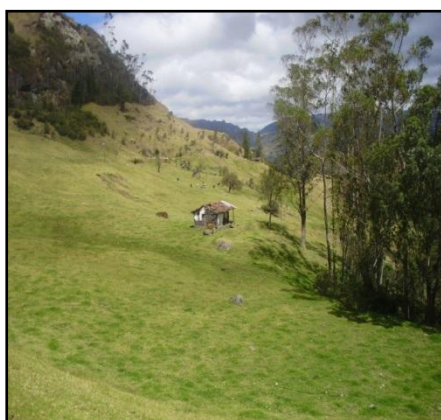
HORIZONTES

Código: Zh-Cp-Si-7-1	Textura: Franco arcilloso
Horizonte: Ap	Presencia de raíces: Baja-delgadas
Profundidad: 34 cm	Presencia de piedras: Baja- pequeñas
Color: 10 YR 3/2	Estructura: Migajón



SITIO 8

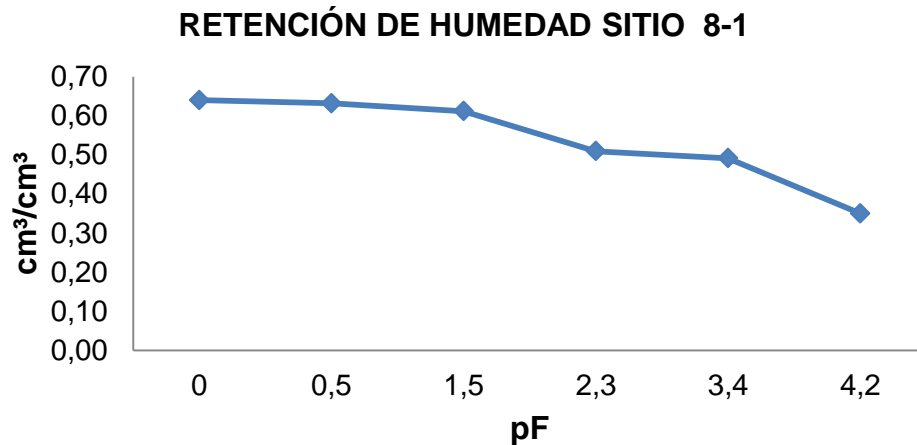
Código: Zh-Pas-Si-8-1; Zh-Pas-Si-8-2	
Localización (Sector): Zhurucay - Cristal alto	Altura: 3030 m s.n.m
Fecha: 27/07/2012	Pendiente: 52%
Coordenadas UTM: X 0698044; Y 9655607	Tipo de suelo: Phaeozem
Posición fisiográfica: Ladera media	Erosión/tipo: Nula
Posición con respecto al paisaje: Media	Cobertura/uso del suelo: Pasto sin manejo
Observaciones: Zona cercana a un ecosistema forestal quemada recientemente.	



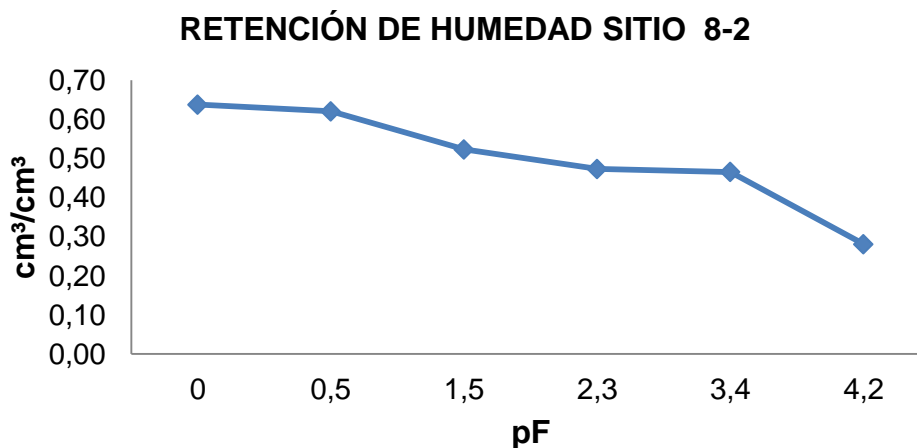


HORIZONTES

Código: Zh-Pas-Si-8-1	Textura: Franco arcilloso
Horizonte: A	Presencia de raíces: Baja-delgadas
Profundidad: 20 cm	Presencia de piedras: Nula
Color: 10 YR 1,7/1	Estructura: Migajón



Código: Zh-Pas-Si-8-2	Textura: Franco
Horizonte: B	Presencia de raíces: Baja-delgadas
Profundidad: 60 cm	Presencia de piedras: Nula
Color: 10 YR 2/2	Estructura: Bloque





SITIO 9

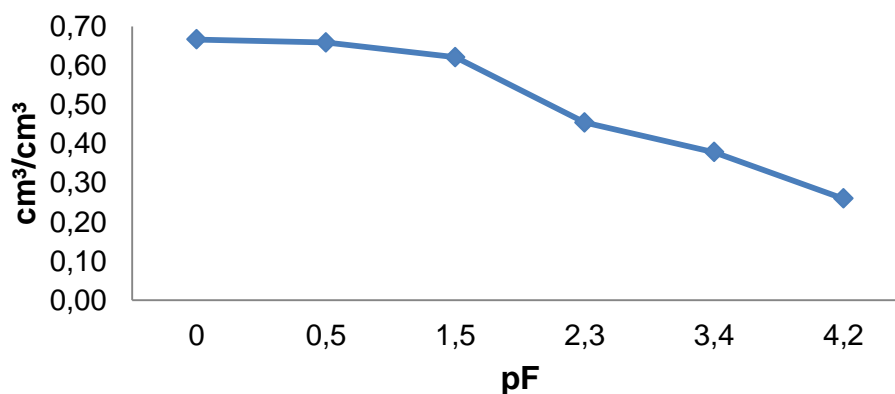
Código: Zh-C-Si-9-1	
Localización (Sector): Zhurucay - Cristal propiedad de la Srta. Rosario	Altura: 2943 m s.n.m
Fecha: 27/07/12	Pendiente: 20-25%
Coordenadas UTM: X 0697249; Y 9655660	Tipo de suelo: Phaeozem
Posición fisiográfica: Fondo de valle con relieve	Erosión/tipo: Baja
Posición con respecto al paisaje: Baja	Cobertura/uso del suelo: Cultivo
Observaciones: Vegetación: manzanilla, clavel, ataco, fucsia, lirios, borraja, malvolorosa, cebolla, geranio. La parcela tiene 11 años de utilizada, anteriormente sembrado maíz y habas, y se ha abonado en septiembre con abono de cuy.	



HORIZONTES

Código: Zh-C-Si-9-1	Textura: Franco arcilloso
Horizonte: Ap	Presencia de raíces: Media-delgadas
Profundidad: 30cm	Presencia de piedras: Alta-medianas
Color: 10 YR 3/2	Estructura: Granular y bloque

RETENCIÓN DE HUMEDAD SITIO 9-1





SITIO 10

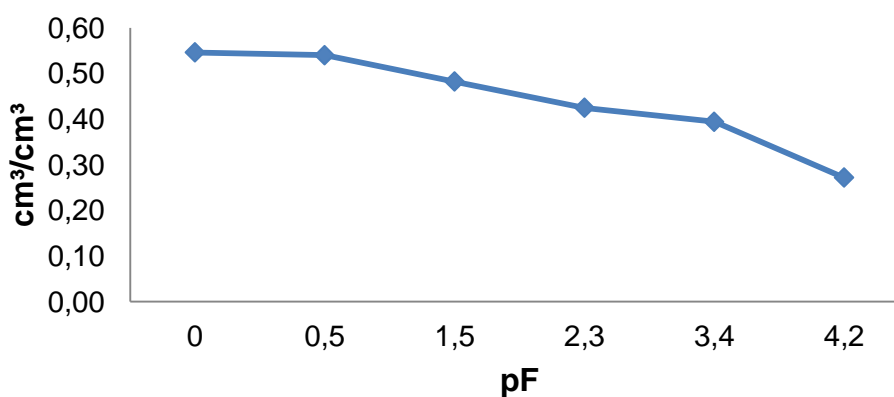
Código: Zh-Pas-Si-10-1	
Localización (Sector): Zhurucay - San Martín	Altura: 2981 m s.n.m
Fecha: 31/07/12	Pendiente: 15%
Coordenadas UTM: X 697410; Y 9655259	Tipo de suelo: Phaeozem
Posición fisiográfica: Ladera media	Erosión/tipo: Nula
Posición con respecto al paisaje: Media	Cobertura/uso del suelo: Pasto sin manejo
Observaciones: Pasto sin manejo, rodeado de arboles, lugar deforestado.	



HORIZONTES

Código: Zh-Pas-Si-10-1	Textura: Franco arcillo arenoso – Franco arenoso
Horizonte: B	Presencia de raíces: media, delgadas
Profundidad: 40 cm	Presencia de piedras: Baja, pequeñas
Color: 10 YR 3/3	Estructura: Migajón

RETENCIÓN DE HUMEDAD SITIO 10-1



SITIO 11

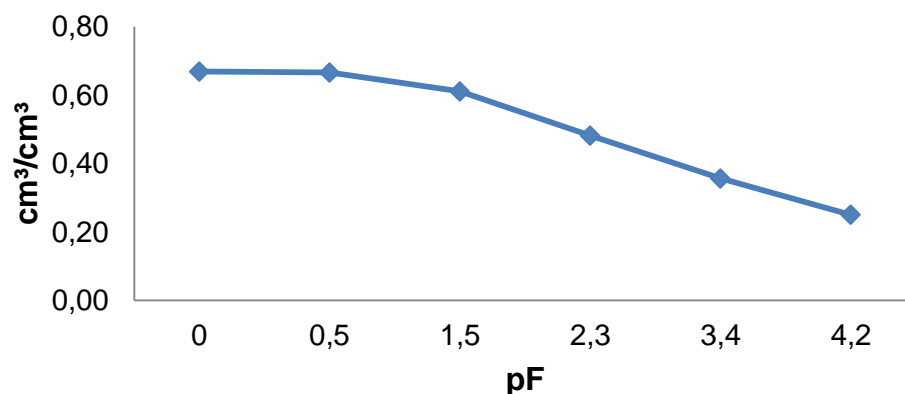
Código: Zh-C- Si -11-1; Zh-C- Si -11-2	
Localización (Sector): Zhurucay - Cristal, propiedad de Manuel Inga	Altura: 2922 m s.n.m
Fecha: 27/07/12	Pendiente: 5%
Coordenadas UTM: X 0696891; Y 9655795	Tipo de suelo: Phaeozem
Posición fisiográfica: Fondo de valle	Erosión/tipo: Baja
Posición con respecto al paisaje: Baja	Cobertura/uso del suelo: Cultivo de maíz
Observaciones: Vegetación: cultivo de maíz, distancia de siembra 1x1 m, 3 semillas por golpe. Malezas: bolsa de pastor, lengua de vaca, trébol, ortiga, kanayuyo.	



HORIZONTES

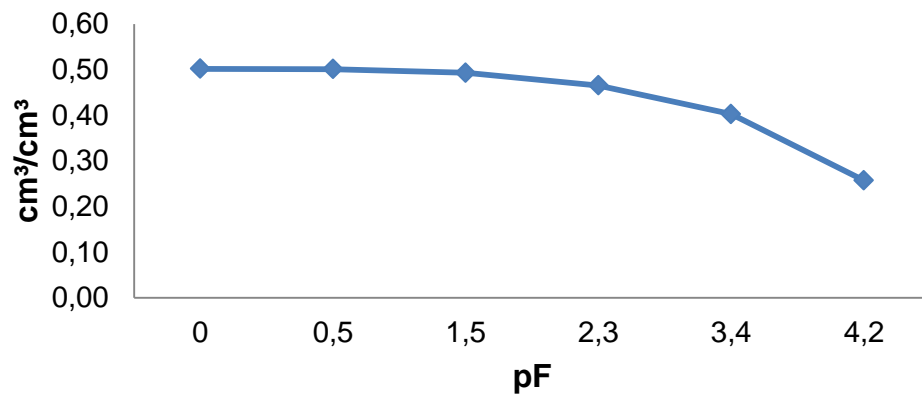
Código: Zh-C- Si -11-1	Textura: Franco arcillo arenoso
Horizonte: Ap	Presencia de raíces: Media-delgadas
Profundidad: 24 cm	Presencia de piedras: Media-pequeñas
Color: 10 YR 3/2	Estructura: Bloque

RETENCIÓN DE HUMEDAD SITIO 11-1



Código: Zh-C- Si -11-2	Textura: Franco arenoso
Horizonte: C	Presencia de raíces: Baja-delgadas
Profundidad: 86 cm	Presencia de piedras: Media-pequeñas
Color: 2,5 Y 5/3	Estructura: Granular

RETENCIÓN DE HUMEDAD SITIO 11-2



SITIO 12

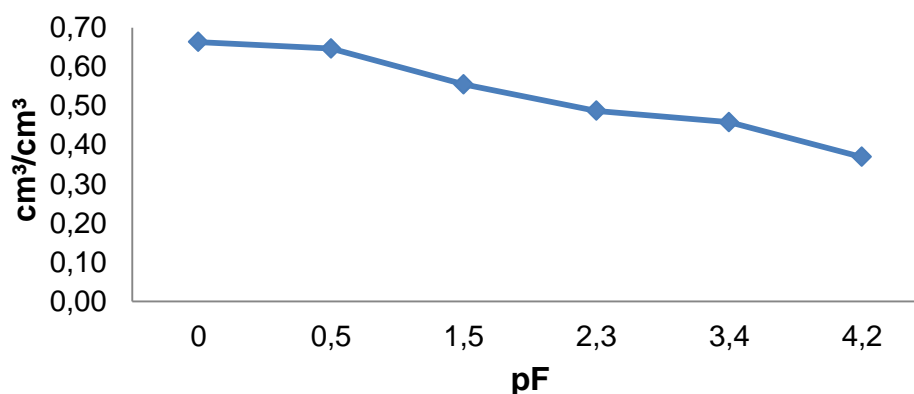
Código: Zh-Pas-Si-12-1	
Localización (Sector): Zhurucay -Canal de San Martín	Altura: 2948 m s.n.m
Fecha: 31/07/2012	Pendiente: 5%
Coordenadas UTM: X 0697411;Y 9655258	Tipo de suelo: Phaeozem
Posición fisiográfica: Ladera baja	Cobertura/uso del suelo: Pasto sin manejo
Posición con respecto al paisaje: Media	Erosión/tipo: Nula
Observaciones: Pasto sin manejo (Kikuyo), cerca de un bosque montano alto.	



HORIZONTES

Código: Zh-Pas-Si-12-1	Textura: Franco arcillo arenoso
Horizonte: A	Presencia de raíces: Alta-medianas
Profundidad: 35 cm	Presencia de piedras: Nula
Color: 10 YR 2/2	Estructura: Migajón

RETENCIÓN DE HUMEDAD SITIO 12-1



SITIO 13

Código: Zh-C-Si-13-1; Zh-C-Si-13-2	
Localización (Sector): Zhurucay - Cristal propiedad del Sr. Mauro	Altura: 2992 m s.n.m
Fecha: 31/07/12	Pendiente: 10-15%
Coordenadas UTM: X 0696535; Y 9655904	Tipo de suelo: Umbrisol
Posición fisiográfica: Ladera baja	Erosión/tipo: Baja
Posición con respecto al paisaje: Baja	Cobertura/uso del suelo: Cultivo de Maíz
Observaciones: Vegetación: maíz, papa, oca, melloco, col, chamburo, espinaca. Malezas: kanayuyo, lengua de vaca epifitas huicundos, solda, otras.	

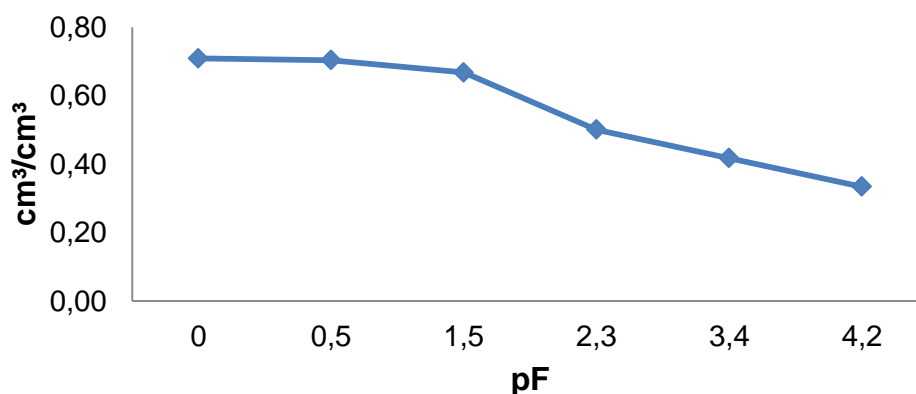




HORIZONTES

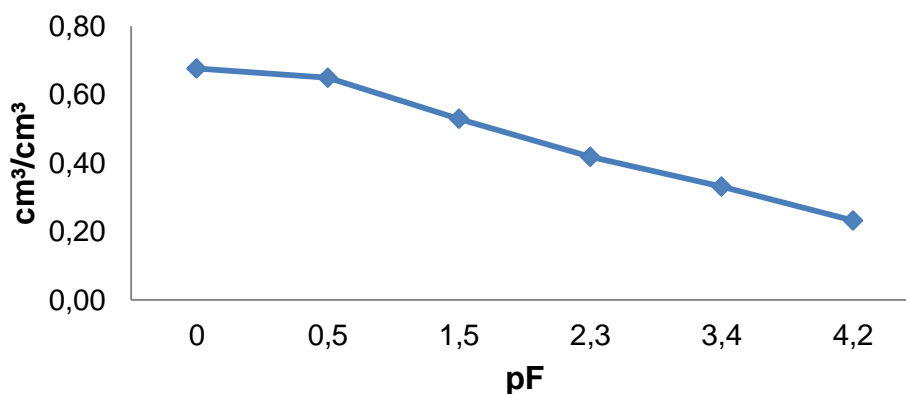
Código: Zh-C-Si-13-1	Textura: Franco arcillo arenoso
Horizonte: Ap	Presencia de raíces: Media
Profundidad: 40 cm	Presencia de piedras: Baja
Color: 5 YR 1,7/1	Estructura: Granular

RETENCIÓN DE HUMEDAD SITIO 13-1



Código: Zh-C-Si-13-2	Textura: Arcilloso - Franco arcilloso
Horizonte: B	Presencia de raíces: Baja
Profundidad: 25 cm	Presencia de piedras: Media
Color: 10 YR 4/3	Estructura: Bloque
Observaciones: Existe un horizonte CR con un contenido excesivo de piedras.	

RETENCIÓN DE HUMEDAD SITIO 13-2



SITIO 14

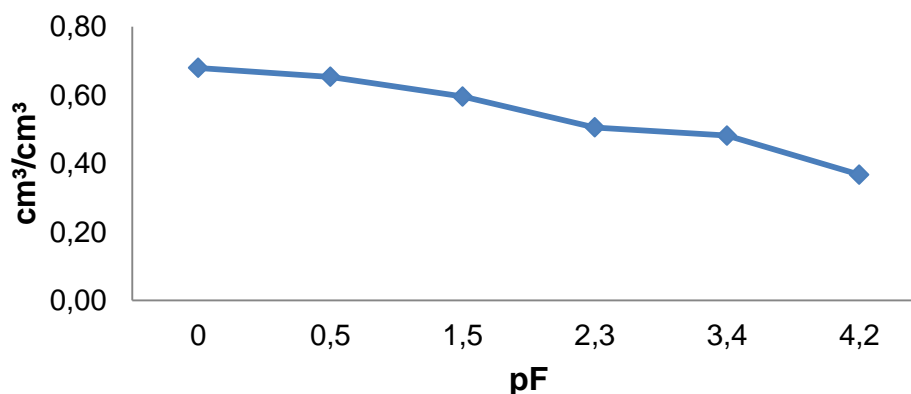
Código: Zh-Bm-Cm-14-1; Zh-Bm-Cm-14-2	
Localización (Sector): Zhurucay - Canal de San Martín	Altura: 2922 m s.n.m
Fecha: 1/08/2012	Pendiente: 3%
Coordenadas UTM: X 0697311; Y 9655042	Tipo de suelo: Phaeozem
Posición fisiográfica: Ladera alta	Erosión/tipo: Nula
Posición con respecto al paisaje: Alta	Cobertura/uso del suelo: bosque de neblina montano
Observaciones: Capa O de 4cm, plantas nativas herbáceas y semileñosas, presencia abundante de suro, pocos árboles, gran cobertura de hojarasca.	



HORIZONTES

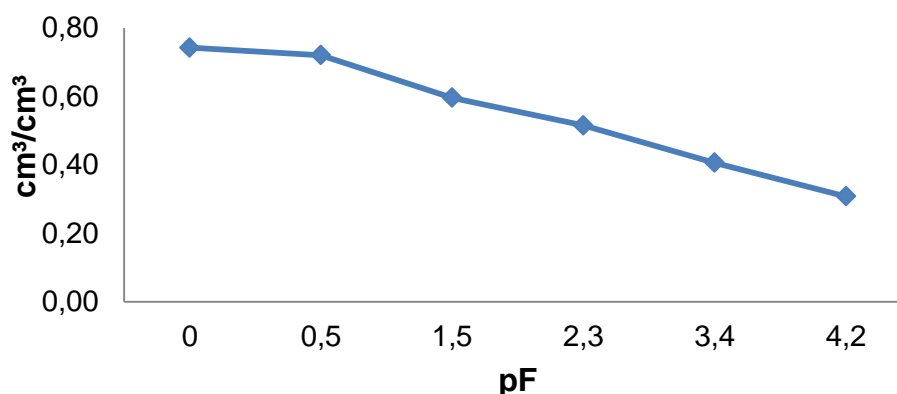
Código: Zh-Bm-Cm-14-1	Textura: Franco arcillo arenoso
Horizonte: AB	Presencia de raíces: Alta-medianas
Profundidad: 22 cm	Presencia de piedras: Baja
Color: 10 YR 4/3	Estructura: Bloque

RETENCIÓN DE HUMEDAD SITIO 14-1



Código: Zh-Bm-Cm-14-2	Textura: Franco
Horizonte: BC	Presencia de raíces: Alta- medianas
Profundidad: 50 cm	Presencia de piedras: Baja
Color: 2,5 Y 7/3	Estructura: Granular

RETENCIÓN DE HUMEDAD SITIO 14-2



SITIO 15

Código: Zh-Pam-Si-15-1; Zh-Pam-Si-15-2	
Localización (Sector): Zhurucay - Cristal, propiedad de la Sra. Faz	Altura: 2958 m s.n.m
Fecha: 01/08/12	Pendiente: 25-30%
Coordenadas UTM: X 0697297; Y 9655950	Tipo de suelo: Phaeozem
Posición fisiográfica: Ladera baja	Erosión/tipo: Baja
Posición con respecto al paisaje: Media	Cobertura/uso del suelo: Pasto con manejo
Observaciones: Vegetación pasto azul, raygrass, trébol, kikuyo. La parcela de pasto fue abonada hace tres años con gallinaza y hace un mes se colocó semilla de raygrass permanente.	

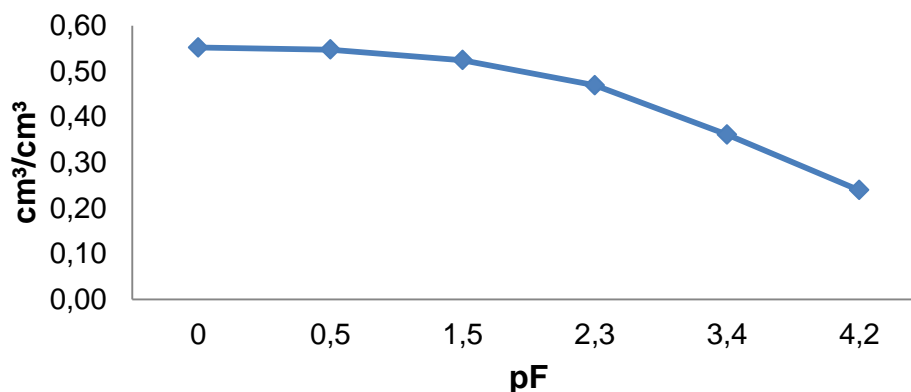




HORIZONTES

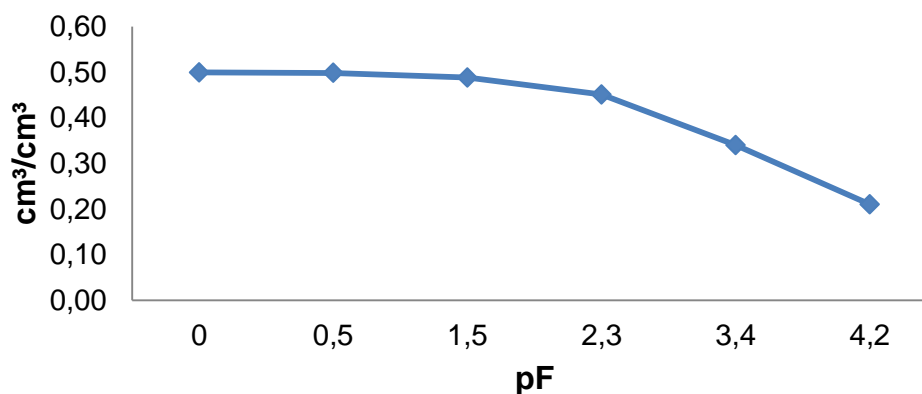
Código: Zh-Pam-Si-15-1	Textura: Franco arenoso
Horizonte: B	Presencia de raíces: Media
Profundidad: 48 cm	Presencia de piedras: Baja
Color: 2,5 Y 3/3	Estructura: Bloque

RETENCIÓN DE HUMEDAD SITIO 15-1



Código: Zh-Pam-Si-15-2	Textura: Franco arenoso
Horizonte: BC	Presencia de raíces: Baja
Profundidad: > 45 cm	Presencia de piedras: Media
Color: 5 YR 4/4	Estructura: Bloque
Observaciones: Se llega hasta el horizonte BC, cuya profundidad es superior a 45cm	

RETENCIÓN DE HUMEDAD SITIO 15-2





SITIO 16

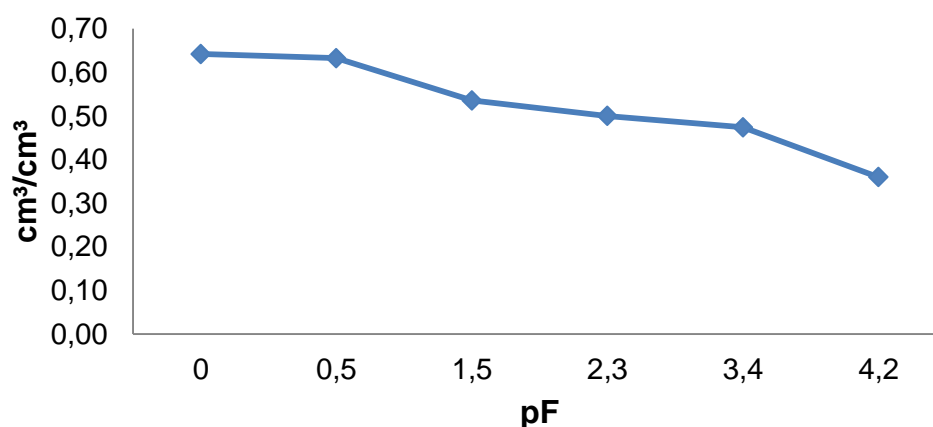
Código: Zh-Bm-Cm-16-1	
Localización (Sector): Zhurucay - Canal de San Martín	Altura: 2963 m s.n.m
Fecha: 1/08/2012	Pendiente: 15%
Coordenadas UTM: X 0697298; Y 9655431	Tipo de suelo: Phaeozem
Posición fisiográfica: Ladera media	Erosión/tipo: Nula
Posición con respecto al paisaje: Media	Cobertura/uso del suelo: bosque de neblina montano
Observaciones: bosque de neblina montano con gran cantidad de materia orgánica hojarasca.	



HORIZONTES

Código: Zh-Bm-Cm-16-1	Textura: Franco arcillo arenoso
Horizonte: A	Presencia de raíces: Alta-delgadas
Profundidad: 80 cm	Presencia de piedras: Nula
Color: 10 YR 2/2	Estructura: Migajón

RETENCIÓN DE HUMEDAD SITIO 16-1



SITIO 17

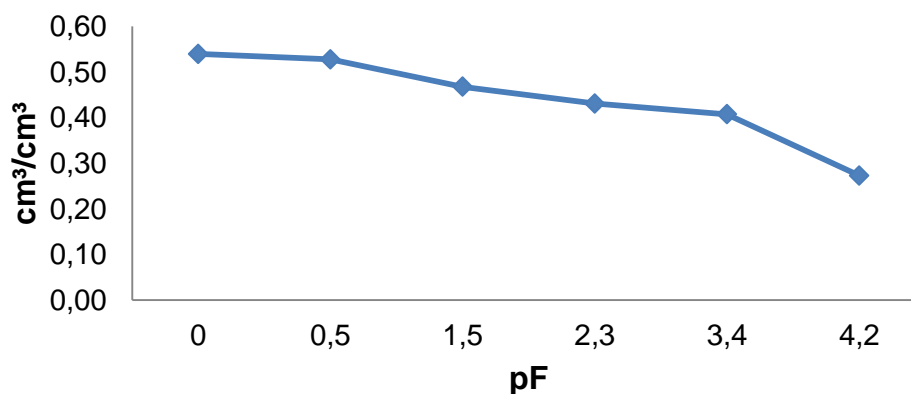
Código: Zh-Bm-Cm-17-1	
Localización (Sector): Cristal, parte superior de la propiedad de la Sra. Faz	Altura: 3069 m s.n.m
Fecha: 02/08/12	Pendiente: 50%
Coordenadas UTM: X 0697241; Y 9656206	Tipo de suelo: Phaeozem
Posición fisiográfica: Ladera baja	Erosión/tipo: Baja
Posición con respecto al paisaje: Alta	Cobertura/uso del suelo: bosque de neblina montano
Observaciones: Vegetación dominante suro; helechos, epifitas	



HORIZONTES

Código: Zh-Bm-Cm-17-1	Textura: Franco arenoso
Horizonte: A	Presencia de raíces: Media
Profundidad: 25 cm	Presencia de piedras: Media
Color: 10 YR 3/3	Estructura: Migajón

RETENCIÓN DE HUMEDAD SITIO 17-1





SITIO 18

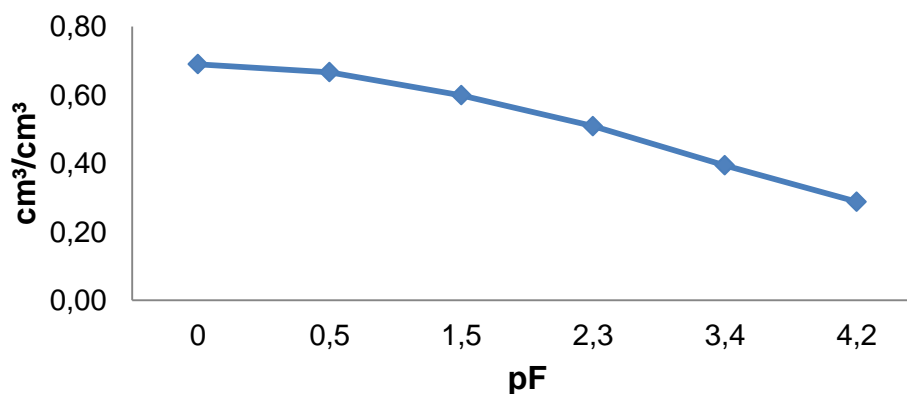
Código: Zh-Pas-Si-18-1	
Localización (Sector): Zhurucay –Cristal	Altura: 3004 m s.n.m
Fecha: 2/08/2012	Pendiente: 24%
Coordenadas UTM: X 0697814; Y 9655648	Tipo de suelo: Phaeozem
Posición fisiográfica: Ladera media	Erosión/tipo: Nula
Posición con respecto al paisaje: Media	Cobertura/uso del suelo: Pasto sin manejo
Observaciones: Pasto sin manejo con kikuyo, cerca de bosque de pino.	



HORIZONTES

Código: Zh-Pas-Si-18-1	Textura: Franco arcilloso
Horizonte: A	Presencia de raíces: Media-delgada
Profundidad: 40 cm	Presencia de piedras: Nula
Color: 7,5 YR 1,7/1	Estructura: Migajón

RETENCIÓN DE HUMEDAD SITIO 18-1





SITIO 19

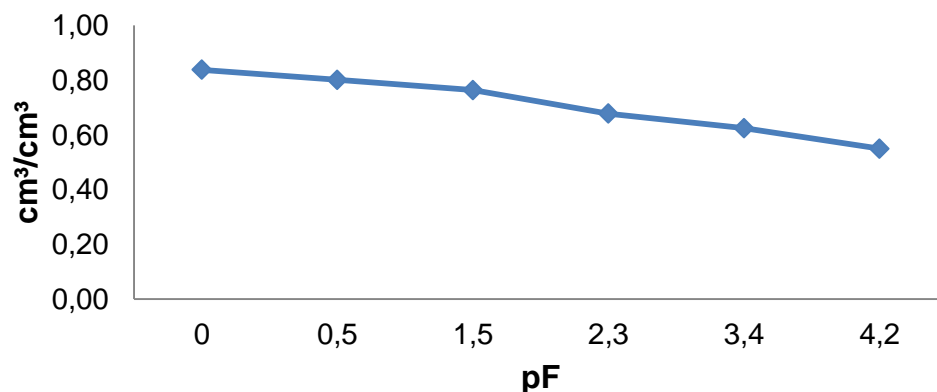
Código: Zh-Pam-Si-19-1; Zh-Pam-Si-19-2	
Localización (Sector): Zhurucay –Cerca del campamento base (prop. del Sr. Hernández)	Altura: 3317 m s.n.m
Fecha: 03/08/12	Pendiente: 20%
Coordenadas UTM: X 0698097; Y 9657532	Tipo de suelo: Umbrisol
Posición fisiográfica: Ladera media	Erosión/tipo: Nula
Posición con respecto al paisaje: Alta	Cobertura/uso del suelo: Pasto con manejo
Observaciones: Vegetación: Raygrass, trébol, diente de león. El terreno se encuentra abonado con gallinaza.	



HORIZONTES

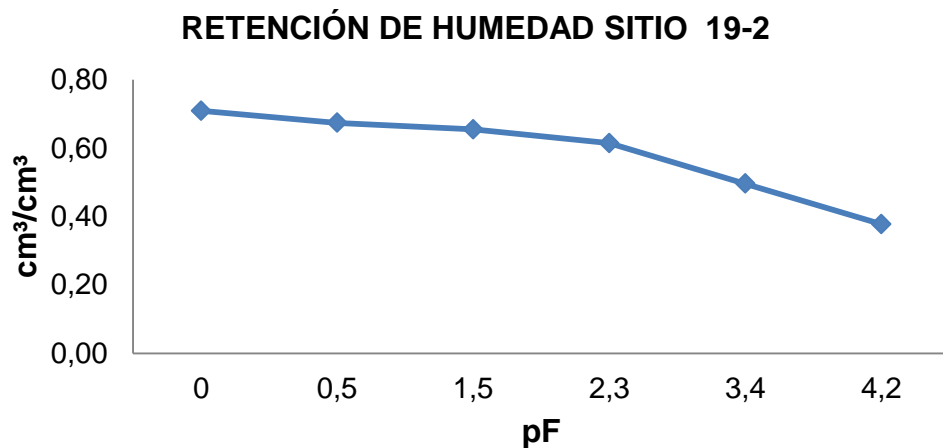
Código: Zh-Pam-Si-19-1	Textura: Franco arenoso
Horizonte: A	Presencia de raíces: Alta- pequeñas
Profundidad: 60 cm	Presencia de piedras: Baja
Color: 7,5 YR 1,7/1	Estructura: Migajón

RETENCIÓN DE HUMEDAD SITIO 19-1





Código: Zh-Pam-Si-19-2	Textura: Franco arenoso
Horizonte: B	Presencia de raíces: Baja- pequeñas
Profundidad: 24 cm	Presencia de piedras: Baja
Color: 7,5 YR 2/2	Estructura: Bloque



SITIO 20

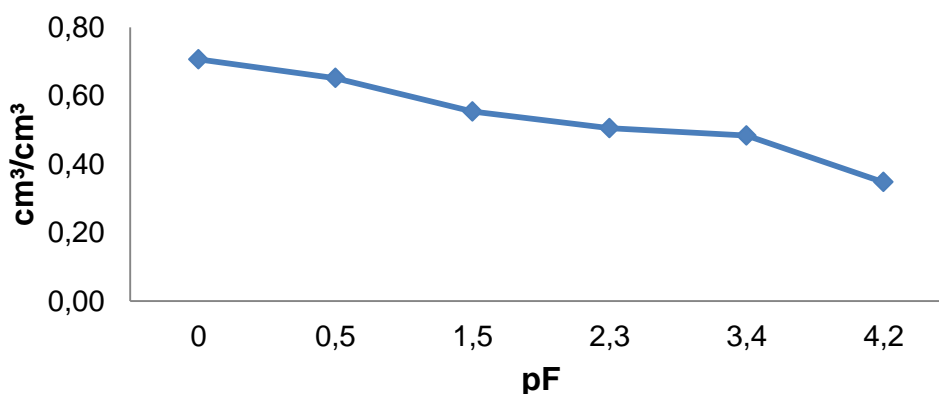
Código: Zh-Bm-Cm-20-1	
Localización (Sector): Zhurucay - Cristal	Altura: 3092 m s.n.m
Fecha: 02/08/2012	Pendiente: 25%
Coordenadas UTM: X 0698216; Y 9656042	Tipo de suelo: Phaeozem
Posición fisiográfica: Ladera alta	Cobertura/uso del suelo: bosque de neblina montano
Posición con respecto al paisaje: Alta	Erosión/tipo: Nula
Observaciones: bosque de neblina montano con gran cantidad de hojarasca, plantas epífitas como huicundo, musgo. Presencia de plantas semileñosas y herbáceas. Densidad entre árbol y árbol 2m.	



HORIZONTES

Código: Zh-Bm-Cm-20-1	Textura: Franco arcillo arenoso
Horizonte: A	Presencia de raíces: Alta-medianas
Profundidad: 40 cm	Presencia de piedras: Media-pequeñas
Color: 10 YR 3/3	Estructura: Migajosa

RETENCIÓN DE HUMEDAD SITIO 20-1



SITIO 21

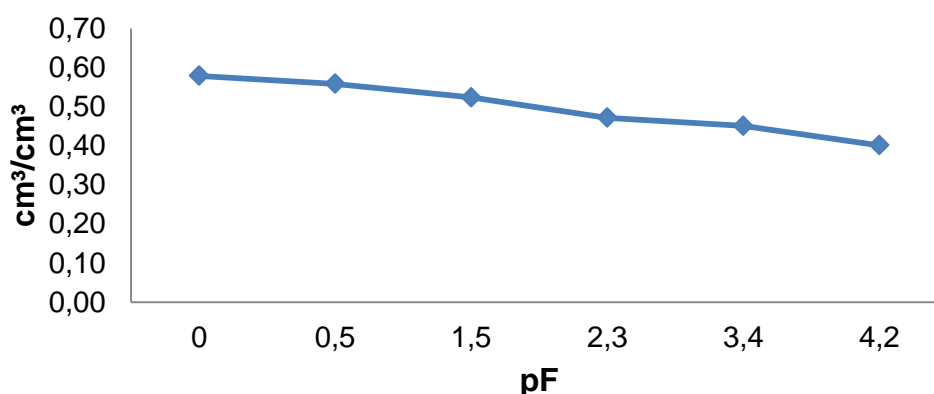
Código: Zh-Pam-Si-21-1	
Localización (Sector): Zhurucay - Cristal bajo	Altura: 2740 m s.n.m
Fecha: 08/08/12	Pendiente: 30%
Coordenadas UTM: X 0696457; Y 9654235	Tipo de suelo: Phaeozem
Posición fisiográfica: Ladera media-cóncava	Erosión/tipo: Nula
Posición con respecto al paisaje: Media	Cobertura/uso del suelo: Pasto con manejo
Observaciones: Vegetación: kikuyo un 95%, pasto azul 5%. Abonado con gallinaza hace 2 meses. Presencia de deslizamientos a 20 m del sitio.	



HORIZONTES

Código: Zh-Pam-Si-21-1	Textura: Franco arcillo arenoso
Horizonte: B	Presencia de raíces: Media
Profundidad: 95 cm	Presencia de piedras: Baja
Color: 7,5 YR 1,7/1	Estructura: Bloque

RETENCIÓN DE HUMEDAD SITIO 21-1



SITIO 22

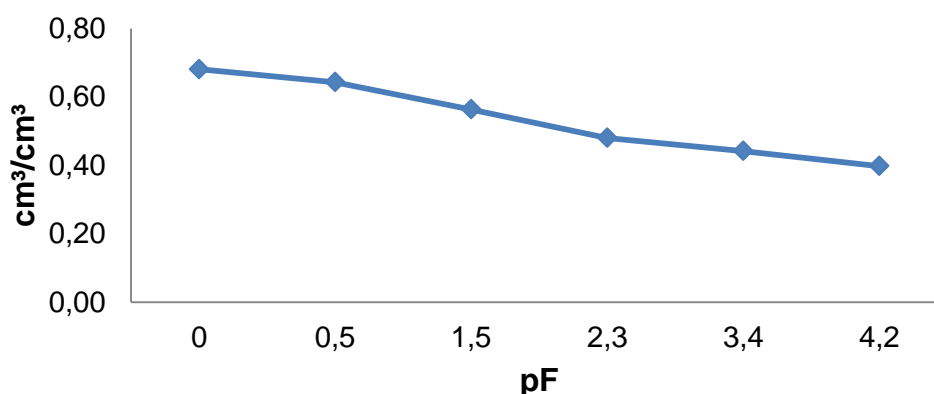
Código: Zh-Cp-Si-22-1	
Localización (Sector): Zhurucay - Campamento base	Altura: 3097 m s.n.m
Fecha: 03/08/2012	Pendiente: 60%
Coordenadas UTM: X 0698561; Y 9655783	Tipo de suelo: Phaeozem
Posición fisiográfica: Ladera alta	Erosión/tipo: Baja
Posición con respecto al paisaje: Alta	Cobertura/uso del suelo: Cultivo
Observaciones: El cultivo de papa ha sido establecido en una pendiente elevada. El suelo se desliza fácilmente y tiene gran contenido de piedras medianas y grandes.	



HORIZONTES

Código: Zh-Cp-Si-22-1	Textura: Franco
Horizonte: BC	Presencia de raíces: Alta-medianas
Profundidad: 30 cm	Presencia de piedras: Alta-pequeñas, medianas y grandes.
Color: 10 YR 4/3	Estructura: Migajosa

RETENCIÓN DE HUMEDAD SITIO 22-1



SITIO 23

Código: Zh-Pam-Si-23-1; Zh-Pam-Si-23-2	
Localización (Sector): Zhurucay - Cristal bajo	Altura: 2696 m s.n.m
Fecha: 08/08/12	Pendiente: 42%
Coordenadas UTM: X 0696256; Y 9654042	Tipo de suelo: Phaeozem
Posición fisiográfica: Ladera baja	Erosión/tipo: Nula
Posición con respecto al paisaje: Baja	Cobertura/uso del suelo: Pasto con manejo
Observaciones: Vegetación: kikuyo un 60%, pasto azul 15%, raygrass 25%. Abonado con gallinaza hace 2 meses.	

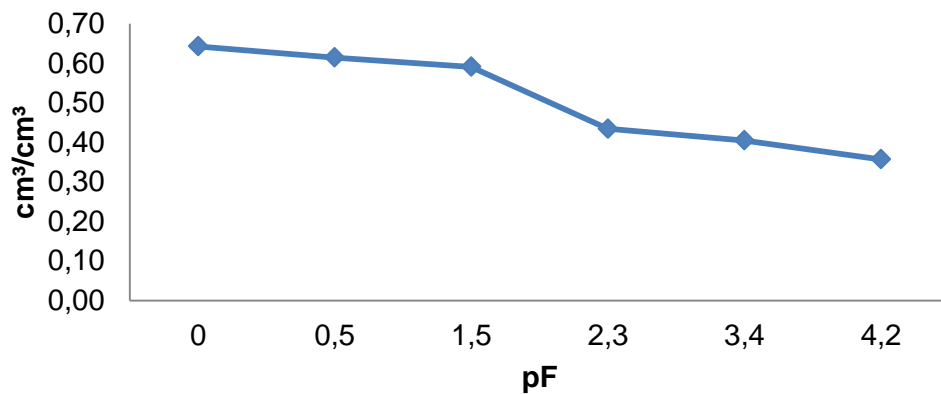




HORIZONTES

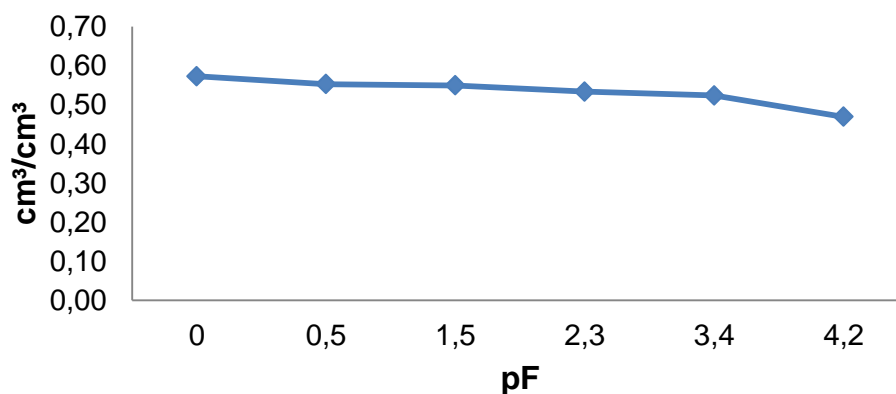
Código: Zh-Pam-Si-23-1	Textura: Franco arcilloso
Horizonte: A	Presencia de raíces: Media-pequeñas
Profundidad: 43 cm	Presencia de piedras: Baja
Color: 10 YR 3/3	Estructura: Migajón

RETENCIÓN DE HUMEDAD SITIO 23-1



Código: Zh-Pam-Si-23-2	Textura: Franco arcilloso
Horizonte: B	Presencia de raíces: Media-pequeñas
Profundidad: >48 cm	Presencia de piedras: Baja
Color: 7,5 YR 2/3	Estructura: Bloque
Observaciones: En el horizonte B se observa moteados de color rojizo	

RETENCIÓN DE HUMEDAD SITIO 23-2



SITIO 24

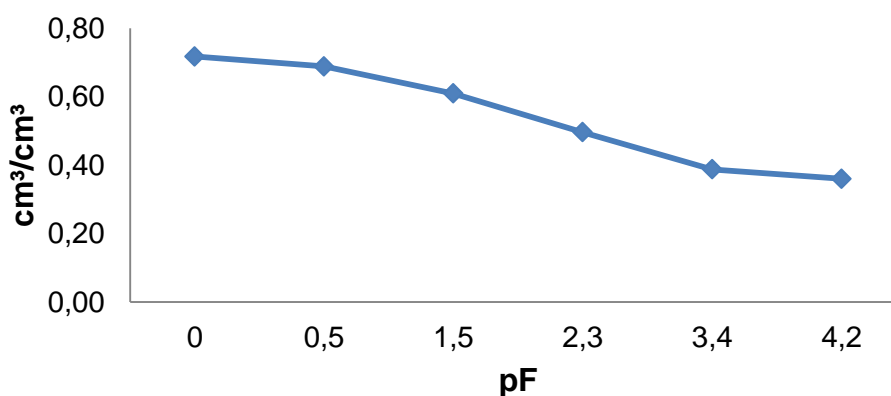
Código: Zh-Pam-Si-24-1	
Localización (Sector): Zhurucay - Ahuarongo	Altura: 3238 m s.n.m
Fecha: 07/08/12	Pendiente: 19%
Coordenadas UTM: X 0698766; Y 9656790	Tipo de suelo: Umbrisol
Posición fisiográfica: ladera baja	Erosión/tipo: Nula
Posición con respecto al paisaje: Baja	Cobertura/uso del suelo: Pasto con manejo
Observaciones: Pasto con manejo (gramíneas y leguminosas) cerca de un pasto sin manejo y de un bosque. Presencia de un horizonte CR.	



HORIZONTES

Código: Zh-Pam-Si-24-1	Textura: Franco arenoso
Horizonte: A	Presencia de raíces: Media-delgadas.
Profundidad: 50 cm	Presencia de piedras: Baja- pequeñas.
Color: 5 YR 1,7/1	Estructura: Migajón

RETENCIÓN DE HUMEDAD SITIO 24-1





SITIO 25

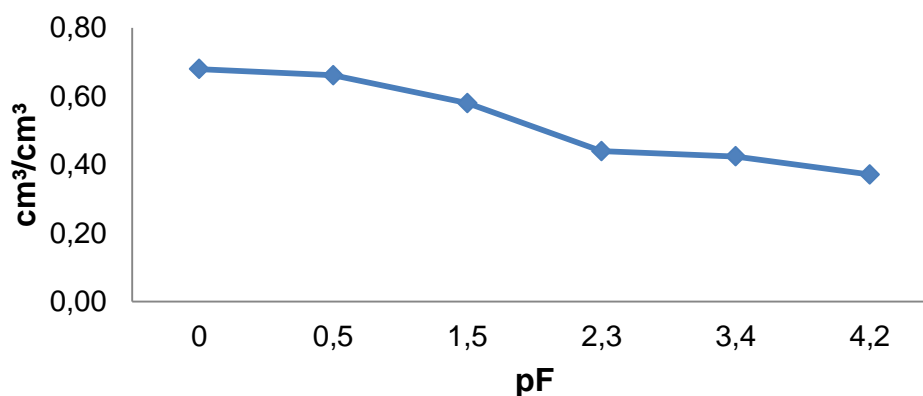
Código: Zh-Pam-Si-25-1; Zh-Pam-Si-25-2	
Localización (Sector): Zhurucay - Cerca de la laguna del Campamento base	Altura: 3268 m s.n.m
Fecha: 09/08/12	Pendiente: 38%
Coordenadas UTM: X 0697378; Y 9656618	Tipo de suelo: Umbrisol
Posición fisiográfica: Ladera baja	Erosión/tipo: Baja
Posición con respecto al paisaje: Media	Cobertura/uso del suelo: Pasto con manejo
Observaciones: Vegetación: pasto azul, raygrass, trébol. Abonado con gallinaza.	



HORIZONTES

Código: Zh-Pam-Si-25-1	Textura: Franco arenoso
Horizonte: Ap	Presencia de raíces: Media-delgadas
Profundidad: 36 cm	Presencia de piedras: Baja
Color: 10 YR 2/3	Estructura: Migajón

RETENCIÓN DE HUMEDAD SITIO 25-1



Código: Zh-Pam-Si-25-2	Textura: Franco arcillo arenoso
Horizonte: C	Presencia de raíces: Bajas-delgadas
Profundidad: >70 cm	Presencia de piedras: Media- medianas
Color: 10 YR 5/4	Estructura: Granular

SITIO 26

Código: Zh-Pas-Si-26-1; Zh-Pas-Si-26-2	
Localización (Sector): Zhurucay - Ahuarongo	Altura: 3235 m s.n.m
Fecha: 07/08/12	Pendiente: 30%
Coordenadas UTM: X 0698737, Y 9656850	Tipo de suelo: Phaeozem
Posición fisiográfica: Ladera media	Erosión/tipo: Nula
Posición con respecto al paisaje: Media	Cobertura/uso del suelo: Pasto sin manejo
Observaciones: Pasto sin manejo con cobertura de kikuyo; cerca de un bosque de neblina montano	

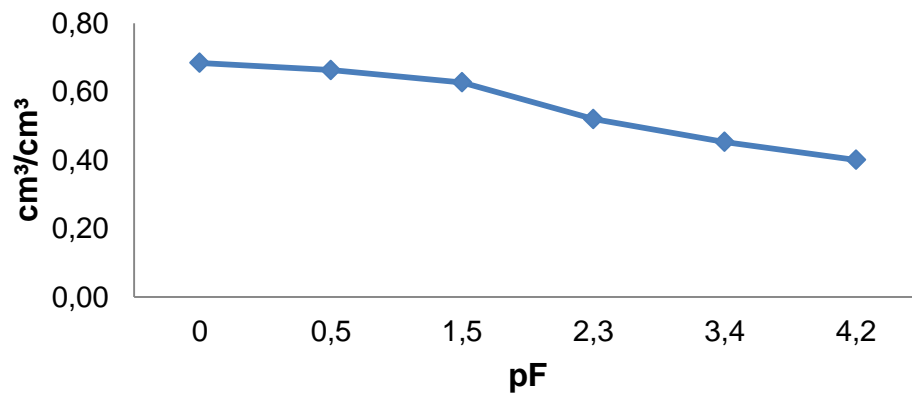


HORIZONTES

Código: Zh-Pas-Si-26-1	Textura: Franco arcillo arenoso
Horizonte: A	Presencia de raíces: Media-delgadas
Profundidad: 30 cm	Presencia de piedras: Nula
Color: 5 YR 1,7/1	Estructura: Migajón

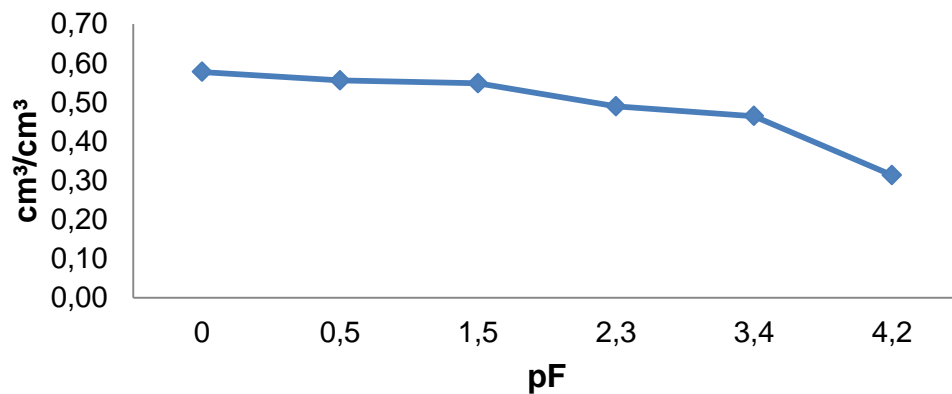


RETENCIÓN DE HUMEDAD SITIO 26-1



Código: Zh-Pas-Si-26-2	Textura: Franco arenoso
Horizonte: BC	Presencia de raíces: Media-delgadas.
Profundidad: 40cm	Presencia de piedras: Nula
Color: 2,5 YR 4/6	Estructura: Granular
Observaciones: Presencia de un horizonte CR, que presenta gran cantidad de piedras.	

RETENCIÓN DE HUMEDAD SITIO 26-2



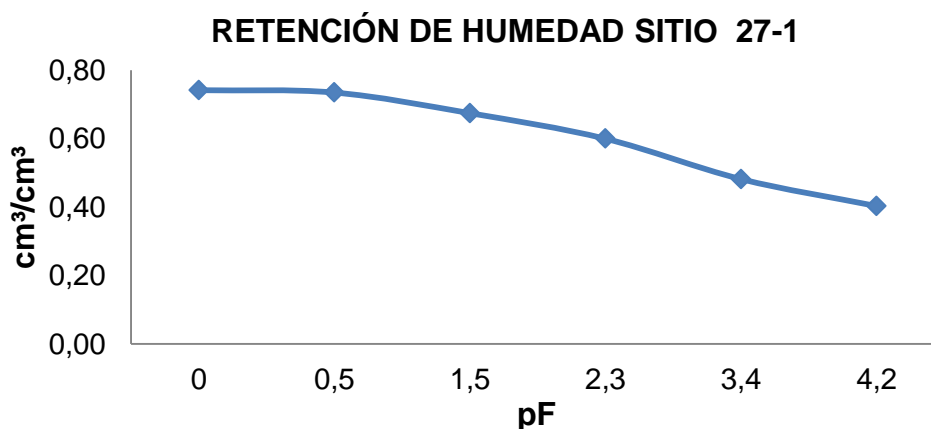
SITIO 27

Código: Zh-Pam-Si-27-1; Zh-Pam-Si-27-2	
Localización (Sector): Zhurucay – Campamento base	Altura: 3248 m s.n.m
Fecha: 24 de Mayo 2012	Pendiente: 5%
Coordenadas UTM: X 0697151; Y 9656917	Tipo de suelo: Phaeozem
Posición fisiográfica: Ladera alta	Erosión/tipo: No
Posición con respecto al paisaje: Alta	Cobertura/uso del suelo: Pasto con manejo
Observaciones: 5 ha. de pasto con manejo, aplicación de 4000 sacos de pollinaza, el ganado rota cada 50 días. Vegetación: pasto azul, raygrass	



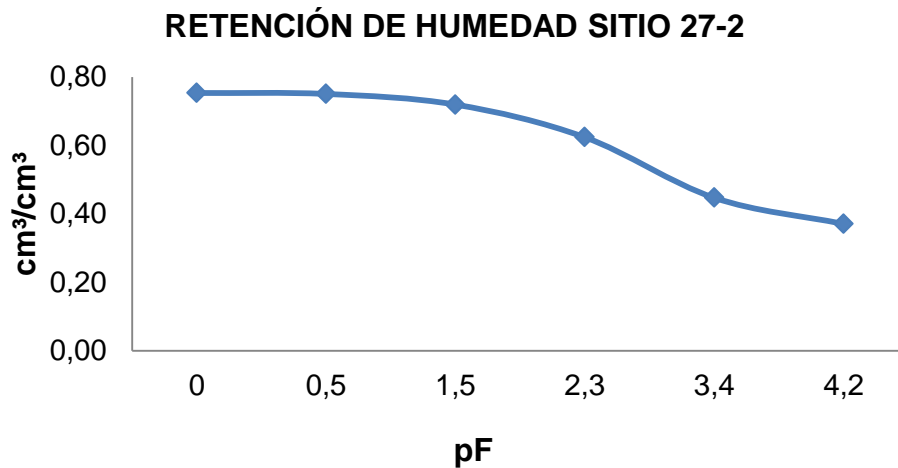
HORIZONTES

Código: Zh-Pam-Si-27-1	Textura: Franco arcilloso
Horizonte: A	Presencia de raíces: Baja
Profundidad: 45 cm	Presencia de piedras: Baja
Color: 10 YR 1,7/1	Estructura: Migajón





Código: Zh-Pam-Si-27-2	Textura: Franco arcilloso
Horizonte: AB	Presencia de raíces: Nula
Profundidad: 40 cm	Presencia de piedras: Nula
Color: 10 YR 2/2	Estructura: Migajón



SITIO 28

Código: Zh-Bm-Cm-28-1; Zh-Bm-Cm-28-2	
Localización (Sector): Zhurucay - Ahuarongo	Altura: 3122 m s.n.m
Fecha: 08/08/12	Pendiente: 22%
Coordenadas UTM: X 0698625, Y 9656853	Tipo de suelo: Phaeozem
Posición fisiográfica: Ladera baja	Erosión/tipo: No
Posición con respecto al paisaje: Baja	Cobertura/uso del suelo: bosque de neblina montano
Observaciones: Plantas herbáceas y leñosas del orden Urticales y de familias como: Asteráceas, Apiaceas. Presencia de diferentes variedades de orquídeas.	

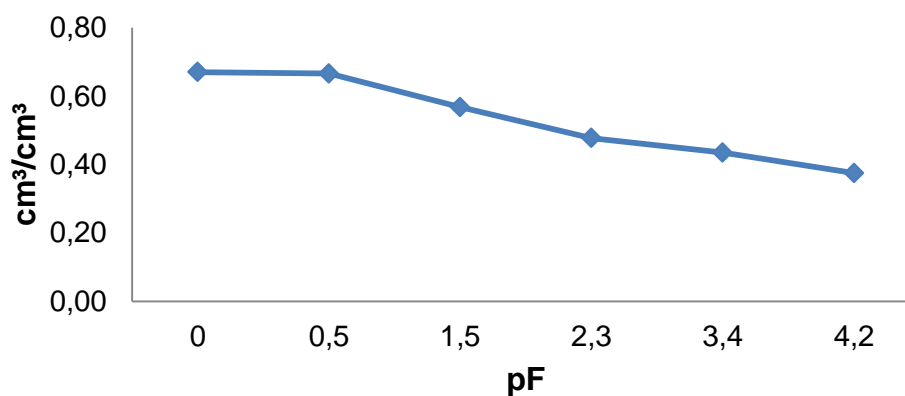




HORIZONTES

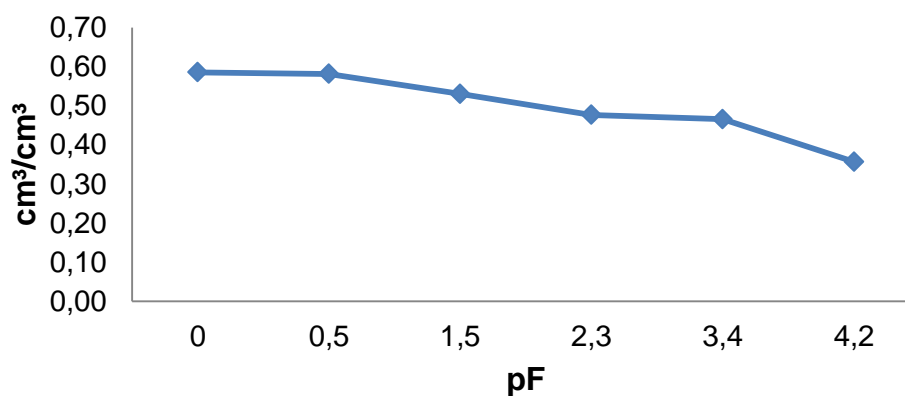
Código: Zh-Bm-Cm-28-1	Textura: Franco arcillo arenoso
Horizonte: A	Presencia de raíces: Alta-delgadas.
Profundidad: 40cm	Presencia de piedras: Baja-pequeñas.
Color: 10 YR 3/3	Estructura: Migajón

RETENCIÓN DE HUMEDAD SITIO 28-1



Código: Zh-Bm-Cm-28-2	Textura: Franco arenoso
Horizonte: BC	Presencia de raíces: Alta-delgadas.
Profundidad: 20cm	Presencia de piedras: Baja- pequeñas.
Color: 10 YR 5/3	Estructura: Migajón

RETENCIÓN DE HUMEDAD SITIO 28-2





ANEXO 2. Ficha de datos de campo y de registro de lecturas del método de pozo invertido

DATOS SALIDA DE CAMPO									
Responsable:									
Fecha:				Posición-paisaje (A/baja, B/media, C/alta):				Código muestra:	
Punto GPS:				Prueba # :				Número de fotografía perfil:	
Localización (Sector):				Cobertura/uso del suelo:					
Número de fotografía:				Tipo de suelo/horizonte:				Profundidad-prueba:	
Horizonte:				Pendiente:				Número	
Profundidad del horizonte:				Erosión/tipo:				kopecky:	
Color:				Presencia de raíces:				Altura:	
Textura:				Presencia de piedras:					
Estructura:				Posición fisiográfica:				GRÁFICO PERFIL	
		Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3	Observaciones				
LEC-FONDO A ESTRU cm:									
LEC-SUPERFICIE- PROF POZO cm:									
Ø AGUJERO cm:									
Tiempo		Lectura	Δ h	Lectura	Δ h	Lectura	Δ h		
(hora)	(min)	(cm) pozo 1		(cm) pozo 2		(cm) pozo 3			
								POZO 1	
								POZO 2	
								POZO 3	

[illegible]

[illegible]



ANEXO 5. Valores p de la prueba de normalidad Shapiro-Wilks de las propiedades físico-químicas de epipedones

Cobertura	Valores p de prueba de normalidad Shapiro-Wilks de epipedones							
Variable	Bm		Pas		Pam		C	
Arena	0,752	N	0,9937	N	0,904	N	0,6319	N
Limo	0,7368	N	0,314	N	0,0571	N	0,0788	N
Arcilla	0,8234	N	0,9774	N	0,7752	N	0,221	N
Ksat	0,564	N	0,3648	N	0,0194	NN	0,0407	NN
DA	0,1035	N	0,937	N	0,3409	N	0,0378	NN
pF 0	0,1333	N	0,5207	N	0,7798	N	0,0237	NN
pF 0,5	0,0385	NN	0,4029	N	0,9682	N	0,0217	NN
pF 1,5	0,4269	N	0,4408	N	0,2537	N	0,6297	N
pF 2,3	0,0746	N	0,4978	N	0,3566	N	0,0771	N
pF 3,4	0,3083	N	0,31	N	0,1581	N	0,1952	N
pF 4,2	0,2587	N	0,6217	N	0,0181	NN	0,5319	N
pH	0,2257	N	0,2941	N	0,4211	N	0,2211	N
C.E.	0,26	N	0,3907	N	0,0031	NN	0,1521	N
M.O.	0,0599	N	0,9544	N	0,1478	N	0,1695	N
S.B.	0,1564	N	0,5354	N	0,2778	N	0,5057	N
CIC	0,0309	NN	0,2621	N	0,132	N	0,2044	N
NT	0,4319	N	0,4034	N	0,3438	N	0,217	N
NH ₄	0,0736	N	0,1238	N	0,0401	NN	0,2152	N
NO ₃	0,0085	NN	0,1963	N	0,6086	N	0,1984	N
P	0,0197	NN	0,0017	NN	0,1391	N	0,0877	N
K	0,6191	N	0,5352	N	0,9792	N	0,4183	N
Ca	0,0005	NN	0,0101	NN	0,722	N	0,6666	N
Mg	0,0494	NN	0,105	N	0,0057	NN	0,3844	N
Na	0,0004	NN	0,0053	NN	0,814	N	0,3241	N
Al+H	9E-06	NN	0,0014	NN	0,4599	N	0,5245	N
Cu	0,00003	NN	0,896	N	0,0356	NN	0,1176	N
Fe	0,1596	N	0,3774	N	0,2014	N	0,4571	N
Mn	0,0096	NN	0,2779	N	0,0546	N	0,3953	N
Zn	0,00004	NN	0,1881	N	0,1111	N	0,0304	NN
B	0,0009	NN	0,0214	NN	0,0001	NN	0,0727	NN
SO ₄	0,5187	N	0,5743	N	0,2376	N	0,1022	N

N= Dato normal, NN= Dato no normal



ANEXO 6. Valores p de la prueba de normalidad Shapiro-Wilks de las propiedades físico-químicas de endopedones

Cobertura	Valores p de prueba de normalidad Shapiro-Wilks de endopedones							
Variable	Bm		Pas		Pam		C	
Arena	0,5558	N	0,9999	N	0,5715	N	0,8428	N
Limo	0,0996	N	0,6369	N	0,8201	N	0,4633	N
Arcilla	0,6532	N	0,253	N	0,4514	N	0,6369	N
Ksat	0,3153	N	0,0952	N	0,0058	NN	0,5854	N
DA	0,4427	N	0,4411	N	0,9359	N	0,5784	N
pF 0	0,9554	N	0,6562	N	0,3452	N	0,0473	NN
pF 0,5	0,7252	N	0,3521	N	0,2301	N	0,0656	N
pF 1,5	0,2849	N	0,7527	N	0,2175	N	0,9788	N
pF 2,3	0,7531	N	0,4697	N	0,1491	N	0,4393	N
pF 3,4	0,1192	N	0,0183	NN	0,5287	N	0,6817	N
pF 4,2	0,071	N	0,3981	N	0,4364	N	0,2718	N
pH	0,562	N	0,0012	NN	0,5034	N	0,7804	N
C.E.	0,6248	N	0,7982	N	0,1021	N	0,0787	N
M.O.	0,0086	NN	0,4106	N	0,004	NN	0,5191	N
S.B.	0,783	N	0,1911	N	0,7198	N	0,0333	NN
CIC	0,1032	N	0,9709	N	0,4283	N	0,712	N
NT	0,4866	N	0,4392	N	0,2756	N	0,2864	N
NH ₄	0,1025	N	0,85	N	0,0056	NN	0,9999	N
NO ₃	0,8011	N	0,4906	N	0,5737	N	0,0372	NN
P	0,5021	N	0,1847	N	0,1803	N	0,0000	NN
K	0,0544	N	0,2738	N	0,002	NN	0,7226	N
Ca	0,3422	N	0,0129	NN	0,9827	N	0,2488	N
Mg	0,1718	N	0,7795	N	0,0162	NN	0,0856	N
Na	0,0239	NN	0,0012	NN	0,2629	N	0,3631	N
Al+H	0,5401	N	0,004	NN	0,0832	N	0,031	NN
Cu	0,0808	N	0,6474	N	0,064	N	0,026	NN
Fe	0,0045	NN	0,2878	N	0,4417	N	0,448	N
Mn	0,4006	N	0,0741	N	0,0695	N	0,6945	N
Zn	0,691	N	0,303	N	0,4039	N	0,3969	N
B	0,0012	NN	0,2616	N	0,0003	NN	0,2232	N
SO ₄	0,4269	N	0,4408	N	0,2537	N	0,6297	N

N= Dato normal, NN= Dato no normal



ANEXO 7. Correlaciones de Spearman de las propiedades físico-químicas en epipedones

VARIABLE	Arena	Limo	Arcilla	Ksat	D A	pF 0	pF 0,5	pF 1,5	pF 2,3	pF 3,4	pF 4,2	pH	C.E.	M.O	S.B	CIC
Arena	1	-0,816	-0,8472	-0,1109	-0,3888	0,4726	0,4539	0,3413	0,4216	0,1952	0,4912	-0,4298	-0,3874	0,3899	-0,4499	-0,2551
Limo	-0,816	1	0,4345	-0,0922	0,2618	-0,3409	-0,3529	-0,288	-0,5123	-0,3546	-0,5134	0,3396	0,2812	-0,5083	0,4405	0,0415
Arcilla	-0,8472	0,4345	1	0,2531	0,4373	-0,4715	-0,4715	-0,341	-0,2583	-0,0245	-0,2817	0,3019	0,3263	-0,2281	0,3216	0,316
Ksat	-0,1109	-0,0922	0,2531	1	-0,0175	-0,0503	0,0469	-0,2547	-0,3145	-0,2863	-0,3066	0,3104	0,0091	0,0864	0,1451	-0,1289
D A	-0,3888	0,2618	0,4373	-0,0175	1	-0,6409	-0,6669	-0,5946	-0,6477	-0,2106	-0,3439	0,5439	0,2666	-0,616	0,6025	0,242
pF 0	0,4726	-0,3409	-0,4715	-0,0503	-0,6409	1	0,9164	0,6047	0,5675	0,1733	0,3642	-0,6293	0,1115	0,5596	-0,4737	-0,1857
pF 0,5	0,4539	-0,3529	-0,4715	0,0469	-0,6669	0,9164	1	0,6635	0,4975	0,0638	0,2784	-0,4641	0,0866	0,6014	-0,4512	-0,1852
pF 1,5	0,3413	-0,288	-0,341	-0,2547	-0,5946	0,6047	0,6635	1	0,6567	0,2117	0,3382	-0,6116	0,0962	0,6409	-0,6431	0,0773
pF 2,3	0,4216	-0,5123	-0,2583	-0,3145	-0,6477	0,5675	0,4975	0,6567	1	0,6104	0,5528	-0,5621	-0,0158	0,7154	-0,6669	0,2147
pF 3,4	0,1952	-0,3546	-0,0245	-0,2863	-0,2106	0,1733	0,0638	0,2117	0,6104	1	0,6635	-0,4106	0,1019	0,5822	-0,4523	0,5038
pF 4,2	0,4912	-0,5134	-0,2817	-0,3066	-0,3439	0,3642	0,2784	0,3382	0,5528	0,6635	1	-0,6538	-0,2796	0,5788	-0,6386	0,0591
pH	-0,4298	0,3396	0,3019	0,3104	0,5439	-0,6293	-0,4641	-0,6116	-0,5621	-0,4106	-0,6538	1	0,4637	0,1984	0,8141	-0,3991
C.E.	-0,3874	0,2812	0,3263	0,0091	0,2666	0,1115	0,0866	0,0962	-0,0158	0,1019	-0,2796	0,4637	1	0,4239	0,5536	-0,2424
M.O	0,3899	-0,5083	-0,2281	0,0864	-0,616	0,5596	0,6014	0,6409	0,7154	0,5822	0,5788	0,1984	0,4239	1	0,1591	-0,3135
S.B	-0,4499	0,4405	0,3216	0,1451	0,6025	-0,4737	-0,4512	-0,6431	-0,6669	-0,4523	-0,6386	0,8141	0,5536	0,1591	1	-0,6124
CIC	-0,2551	0,0415	0,316	-0,1289	0,242	-0,1857	-0,1852	0,0773	0,2147	0,5038	0,0591	-0,3991	-0,2424	-0,3135	-0,6124	1
NT	0,3018	-0,4049	-0,192	-0,0311	-0,5944	0,552	0,6249	0,739	0,7254	0,513	0,5678	0,2416	0,5084	0,9677	0,2212	-0,3189
NH ₄	0,4463	-0,5546	-0,2445	-0,2296	-0,4661	0,5746	0,4842	0,636	0,7048	0,5803	0,6184	-0,0412	0,3781	0,7917	0,0736	-0,3434
NO ₃	0,1552	-0,1601	-0,176	0,312	-0,2973	0,3549	0,5595	0,3882	0,1503	0,0684	0,0639	0,1942	0,6492	0,5246	0,1479	-0,2339
P	-0,1215	-0,0441	0,0705	0,235	-0,0695	0,2768	0,4395	0,3124	0,0237	0,0672	-0,1932	0,522	0,726	0,4646	0,4999	-0,3251
K	-0,4716	0,3	0,4531	0,2248	0,3937	-0,3767	-0,283	-0,087	-0,3942	-0,2502	-0,4247	0,5467	0,6486	0,2183	0,5389	-0,3634
Ca	-0,6367	0,5646	0,5091	0,1203	0,6273	-0,4896	-0,4534	-0,5901	-0,5359	-0,2874	-0,5855	0,7176	0,4461	-0,0404	0,7609	-0,0844
Mg	-0,4641	0,2612	0,5086	0,135	0,7549	-0,6386	-0,7019	-0,7019	-0,5212	-0,2727	-0,572	0,5994	0,3092	-0,2296	0,6399	-0,2226
Na	0,1303	-0,0009	-0,2479	-0,3108	0,1184	0,3842	0,3038	0,098	0,049	-0,1778	-0,0764	-0,3699	-0,2006	-0,5569	-0,3492	0,2707
Al+H	0,4338	-0,5019	-0,2574	-0,2648	-0,3808	0,2393	0,2348	0,5386	0,3915	0,3112	0,5143	-0,6578	-0,4613	-0,0747	-0,6586	0,2047
Cu	-0,1603	0,0716	0,1243	-0,2083	0,5248	-0,2434	-0,2123	-0,0957	-0,0719	-0,0459	-0,4433	-0,1064	0,0817	-0,5662	-0,1548	0,5014
Fe	0,0872	-0,3193	0,0587	-0,3631	0,0762	0,0943	0,039	0,3032	0,3755	0,1203	0,0559	-0,4604	-0,2251	-0,4167	-0,5079	0,4279
Mn	-0,0011	-0,1873	0,1659	-0,0774	0,2287	-0,0525	-0,0943	0,0344	0,0853	-0,1158	-0,1259	0,046	0,2384	0,0897	0,2478	-0,2809
Zn	-0,2921	0,2215	0,2504	-0,0079	0,2254	-0,1915	-0,2152	-0,2067	0,039	0,0412	-0,2751	0,2795	0,3896	-0,0985	0,4526	-0,1172
B	-0,428	0,4935	0,1976	-0,0012	0,3161	-0,0059	0,0077	-0,1263	-0,2361	-0,0569	-0,3998	0,4921	0,7814	0,2594	0,5775	-0,1226
SO ₄	-0,2928	0,2002	0,3572	0,0345	0,4244	0,0441	-0,0712	-0,325	-0,2057	-0,1057	-0,273	0,5052	0,7514	0,3275	0,7222	-0,4441



VARIABLE	NT	NH ₄	NO ₃	P	K	Ca	Mg	Na	Al+H	Cu	Fe	Mn	Zn	B	SO ₄
Arena	0,3018	0,4463	0,1552	-0,1215	-0,4716	-0,6367	-0,4641	0,1303	0,4338	-0,1603	0,0872	-0,0011	-0,2921	-0,428	-0,2928
Limo	-0,4049	-0,5546	-0,1601	-0,0441	0,3	0,5646	0,2612	-0,0009	-0,5019	0,0716	-0,3193	-0,1873	0,2215	0,4935	0,2002
Arcilla	-0,192	-0,2445	-0,176	0,0705	0,4531	0,5091	0,5086	-0,2479	-0,2574	0,1243	0,0587	0,1659	0,2504	0,1976	0,3572
Ksat	-0,0311	-0,2296	0,312	0,235	0,2248	0,1203	0,135	-0,3108	-0,2648	-0,2083	-0,3631	-0,0774	-0,0079	-0,0012	0,0345
D A	-0,5944	-0,4661	-0,2973	-0,0695	0,3937	0,6273	0,7549	0,1184	-0,3808	0,5248	0,0762	0,2287	0,2254	0,3161	0,4244
pF 0	0,552	0,5746	0,3549	0,2768	-0,3767	-0,4896	-0,6386	0,3842	0,2393	-0,2434	0,0943	-0,0525	-0,1915	-0,0059	0,0441
pF 0,5	0,6249	0,4842	0,5595	0,4395	-0,283	-0,4534	-0,7019	0,3038	0,2348	-0,2123	0,039	-0,0943	-0,2152	0,0077	-0,0712
pF 1,5	0,739	0,636	0,3882	0,3124	-0,087	-0,5901	-0,7019	0,098	0,5386	-0,0957	0,3032	0,0344	-0,2067	-0,1263	-0,325
pF2,3	0,7254	0,7048	0,1503	0,0237	-0,3942	-0,5359	-0,5212	0,049	0,3915	-0,0719	0,3755	0,0853	0,039	-0,2361	-0,2057
pF 3,4	0,513	0,5803	0,0684	0,0672	-0,2502	-0,2874	-0,2727	-0,1778	0,3112	-0,0459	0,1203	-0,1158	0,0412	-0,0569	-0,1057
pF 4,2	0,5678	0,6184	0,0639	-0,1932	-0,4247	-0,5855	-0,572	-0,0764	0,5143	-0,4433	0,0559	-0,1259	-0,2751	-0,3998	-0,273
pH	0,2416	-0,0412	0,1942	0,522	0,5467	0,7176	0,5994	-0,3699	-0,6578	-0,1064	-0,4604	0,046	0,2795	0,4921	0,5052
C.E.	0,5084	0,3781	0,6492	0,726	0,6486	0,4461	0,3092	-0,2006	-0,4613	0,0817	-0,2251	0,2384	0,3896	0,7814	0,7514
M.O	0,9677	0,7917	0,5246	0,4646	0,2183	-0,0404	-0,2296	-0,5569	-0,0747	-0,5662	-0,4167	0,0897	-0,0985	0,2594	0,3275
S.B	0,2212	0,0736	0,1479	0,4999	0,5389	0,7609	0,6399	-0,3492	-0,6586	-0,1548	-0,5079	0,2478	0,4526	0,5775	0,7222
CIC	-0,3189	-0,3434	-0,2339	-0,3251	-0,3634	-0,0844	-0,2226	0,2707	0,2047	0,5014	0,4279	-0,2809	-0,1172	-0,1226	-0,4441
NT	1	0,7828	0,5895	0,5259	0,2641	0,0347	-0,2377	-0,5206	-0,1183	-0,5143	-0,3944	0,1333	0,016	0,3494	0,3839
NH ₄	0,7828	1	0,3644	0,3968	0,2324	-0,2885	-0,2013	-0,3553	0,2042	-0,3526	0,0165	0,4001	0,0369	0,1256	0,3548
NO ₃	0,5895	0,3644	1	0,6451	0,4098	0,0419	-0,1727	-0,2672	-0,1613	-0,0968	-0,2294	0,0641	0,1469	0,5004	0,334
P	0,5259	0,3968	0,6451	1	0,6425	0,3371	0,0796	-0,2167	-0,217	-0,0151	-0,1808	0,1254	0,2919	0,5583	0,5172
K	0,2641	0,2324	0,4098	0,6425	1	0,3255	0,3795	-0,3913	-0,2791	0,0491	-0,135	0,1878	0,2875	0,3935	0,4917
Ca	0,0347	-0,2885	0,0419	0,3371	0,3255	1	0,5121	-0,2147	-0,7698	0,0512	-0,4941	-0,119	0,4038	0,669	0,516
Mg	-0,2377	-0,2013	-0,1727	0,0796	0,3795	0,5121	1	-0,0921	-0,4401	0,243	-0,0044	0,3118	0,2828	0,2153	0,4236
Na	-0,5206	-0,3553	-0,2672	-0,2167	-0,3913	-0,2147	-0,0921	1	0,2259	0,5722	0,4562	-0,1438	-0,0892	-0,2131	-0,3015
Al+H	-0,1183	0,2042	-0,1613	-0,217	-0,2791	-0,7698	-0,4401	0,2259	1	0,0869	0,5479	0,1307	-0,3959	-0,5667	-0,542
Cu	-0,5143	-0,3526	-0,0968	-0,0151	0,0491	0,0512	0,243	0,5722	0,0869	1	0,609	0,0774	0,3262	-0,0482	-0,1342
Fe	-0,3944	0,0165	-0,2294	-0,1808	-0,135	-0,4941	-0,0044	0,4562	0,5479	0,609	1	0,4084	0,1185	-0,407	-0,2794
Mn	0,1333	0,4001	0,0641	0,1254	0,1878	-0,119	0,3118	-0,1438	0,1307	0,0774	0,4084	1	0,4104	0,0314	0,4691
Zn	0,016	0,0369	0,1469	0,2919	0,2875	0,4038	0,2828	-0,0892	-0,3959	0,3262	0,1185	0,4104	1	0,3775	0,4821
B	0,3494	0,1256	0,5004	0,5583	0,3935	0,669	0,2153	-0,2131	-0,5667	-0,0482	-0,407	0,0314	0,3775	1	0,5796
SO ₄	0,3839	0,3548	0,334	0,5172	0,4917	0,516	0,4236	-0,3015	-0,542	-0,1342	-0,2794	0,4691	0,4821	0,5796	1



ANEXO 8. Correlaciones de Spearman de las propiedades físico-químicas en endopedones

VARIABLE	Arena	Limo	Arcilla	Ksat	D A	pF 0	pF 0,5	pF 1,5	pF 2,3	pF 3,4	pF 4,2	pH	C.E.	M.O	S.B	CIC
Arena	1	-0,4329	-0,8909	-0,4886	0,5594	-0,3439	-0,3734	-0,2465	-0,0812	-0,3469	-0,3941	0,3276	0,3254	-0,2672	0,4251	-0,8546
Limo	-0,4329	1	0,0396	0,338	-0,4836	0,3638	0,3502	0,3926	0,3077	0,3274	0,2744	-0,2989	-0,5215	-0,1667	0,0819	0,2766
Arcilla	-0,8909	0,0396	1	0,4468	-0,3891	0,2337	0,2604	0,0784	-0,0296	0,3328	0,3965	-0,2064	-0,0825	0,5015	-0,5829	0,8468
Ksat	-0,4886	0,338	0,4468	1	-0,45	0,3647	0,3882	0,1588	0,0118	0,2176	0,3088	-0,3049	0,0192	0,4706	-0,1147	0,5735
D A	0,5594	-0,4836	-0,3891	-0,45	1	-0,8912	-0,8882	-0,7206	-0,4294	-0,2235	-0,2765	0,7138	0,356	-0,3676	0,4529	-0,5233
pF 0	-0,3439	0,3638	0,2337	0,3647	-0,8912	1	0,9794	0,8618	0,6441	0,3118	0,4529	-0,6186	-0,2422	0,5735	-0,5941	0,2897
pF 0,5	-0,3734	0,3502	0,2604	0,3882	-0,8882	0,9794	1	0,8588	0,6588	0,3676	0,4206	-0,6424	-0,3264	0,5441	-0,5559	0,2749
pF 1,5	-0,2465	0,3926	0,0784	0,1588	-0,7206	0,8618	0,8588	1	0,8794	0,5088	0,6	-0,6499	-0,3678	0,4324	-0,5324	0,0044
pF2,3	-0,0812	0,3077	-0,0296	0,0118	-0,4294	0,6441	0,6588	0,8794	1	0,7265	0,7118	-0,5086	-0,4904	0,4088	-0,4882	-0,1523
pF 3,4	-0,3469	0,3274	0,3328	0,2176	-0,2235	0,3118	0,3676	0,5088	0,7265	1	0,7559	-0,2335	-0,5598	0,4529	-0,4706	0,1463
pF 4,2	-0,3941	0,2744	0,3965	0,3088	-0,2765	0,4529	0,4206	0,6	0,7118	0,7559	1	-0,2825	-0,2319	0,6824	-0,7206	0,2424
pH	0,3276	-0,2989	-0,2064	-0,3049	0,7138	-0,6186	-0,6424	-0,6499	-0,5086	-0,2335	-0,2825	1	0,4274	-0,1112	0,3042	-0,1606
C.E.	0,3254	-0,5215	-0,0825	0,0192	0,356	-0,2422	-0,3264	-0,3678	-0,4904	-0,5598	-0,2319	0,4274	1	0,2807	0,1502	-0,0993
M.O	-0,2672	-0,1667	0,5015	0,4706	-0,3676	0,5735	0,5441	0,4324	0,4088	0,4529	0,6824	-0,1112	0,2807	1	-0,6326	0,4249
S.B	0,4251	0,0819	-0,5829	-0,1147	0,4529	-0,5941	-0,5559	-0,5324	-0,4882	-0,4706	-0,7206	0,3042	0,1502	-0,6326	1	-0,2943
CIC	-0,8546	0,2766	0,8468	0,5735	-0,5233	0,2897	0,2749	0,0044	-0,1523	0,1463	0,2424	-0,1606	-0,0993	0,4249	-0,2943	1
NT	-0,271	-0,2093	0,5418	0,4032	-0,2752	0,4386	0,3738	0,2517	0,2016	0,3046	0,5798	-0,1717	0,295	0,9143	-0,6405	0,4938
NH ₄	-0,0566	-0,0566	0,2136	0,2643	-0,2361	0,3697	0,3489	0,3222	0,2495	0,2331	0,4499	-0,193	0,2538	0,6629	-0,4256	0,1567
NO ₃	0,0931	-0,3004	-0,0022	0,234	0,0324	0,1177	0,0221	-0,1001	-0,2826	-0,5931	-0,0309	0,1612	0,6817	0,311	-0,001	0,1504
P	0,4024	-0,4375	-0,1883	-0,1651	0,5291	-0,28	-0,3257	-0,1503	-0,0737	-0,1739	0,056	0,3148	0,7722	0,1613	0,06	-0,4486
K	-0,2276	0,0182	0,3207	0,6068	-0,2489	0,1237	0,0928	-0,0427	-0,2607	-0,2047	0,1208	-0,0887	0,5521	0,4153	0,0682	0,333
Ca	-0,2332	0,0621	0,3462	0,3882	0,1471	-0,2471	-0,2559	-0,5412	-0,6029	-0,1029	-0,1794	0,4814	0,4133	0,2178	0,2632	0,456
Mg	0,0694	-0,1334	-0,1302	-0,1	0,4235	-0,5559	-0,5176	-0,5088	-0,5265	-0,4735	-0,6206	0,45	0,434	-0,3643	0,7234	-0,0508
Na	0,5133	-0,4517	-0,3603	-0,5716	0,5137	-0,3048	-0,375	-0,1539	-0,0671	-0,2454	0,0061	0,4647	0,5826	0,0322	0,0129	-0,5167
Al+H	-0,3917	0,3917	0,2044	0,1075	-0,5876	0,4801	0,5582	0,5449	0,4963	0,3741	0,1694	-0,7817	-0,804	-0,1116	-0,2448	0,1369
Cu	0,4848	-0,1799	-0,5222	-0,3417	0,2106	-0,1222	-0,1046	-0,1222	-0,1414	-0,458	-0,5729	0,2948	0,3949	-0,2523	0,3847	-0,4398
Fe	-0,048	-0,4194	0,2169	-0,0324	-0,1015	0,181	0,181	0,2796	0,2252	0,0559	0,2826	-0,1868	0,1902	0,3418	-0,5214	-0,0306
Mn	0,028	-0,2789	0,0444	-0,2412	-0,1324	0,0412	0,0235	0,2294	0,2353	0,15	0,1471	-0,3325	-0,116	0,0774	-0,2508	0,0694
Zn	0,0938	0,3231	-0,1473	-0,1501	0,0309	-0,0603	-0,0809	-0,0721	-0,0221	0,1898	-0,1207	-0,0451	-0,0829	-0,1084	0,2148	0,0384
B	0,1528	-0,0697	-0,074	0,0964	0,4567	-0,3552	-0,4618	-0,4263	-0,4719	-0,3518	-0,0135	0,5981	0,6442	0,1421	0,2819	-0,0035
SO4	0,1529	-0,0508	-0,1184	0,2575	0,4077	-0,4209	-0,4739	-0,4812	-0,5622	-0,3017	-0,2369	0,4924	0,4826	-0,03	0,4153	0,1613



VARIABLE	NT	NH ₄	NO ₃	P	K	Ca	Mg	Na	Al+H	Cu	Fe	Mn	Zn	B	SO ₄
Arena	-0,271	-0,0566	0,0931	0,4024	-0,2276	-0,2332	0,0694	0,5133	-0,3917	0,4848	-0,048	0,028	0,0938	0,1528	0,1529
Limo	-0,2093	-0,0566	-0,3004	-0,4375	0,0182	0,0621	-0,1334	-0,4517	0,3917	-0,1799	-0,4194	-0,2789	0,3231	-0,0697	-0,0508
Arcilla	0,5418	0,2136	-0,0022	-0,1883	0,3207	0,3462	-0,1302	-0,3603	0,2044	-0,5222	0,2169	0,0444	-0,1473	-0,074	-0,1184
Ksat	0,4032	0,2643	0,234	-0,1651	0,6068	0,3882	-0,1	-0,5716	0,1075	-0,3417	-0,0324	-0,2412	-0,1501	0,0964	0,2575
D A	-0,2752	-0,2361	0,0324	0,5291	-0,2489	0,1471	0,4235	0,5137	-0,5876	0,2106	-0,1015	-0,1324	0,0309	0,4567	0,4077
pF 0	0,4386	0,3697	0,1177	-0,28	0,1237	-0,2471	-0,5559	-0,3048	0,4801	-0,1222	0,181	0,0412	-0,0603	-0,3552	-0,4209
pF 0,5	0,3738	0,3489	0,0221	-0,3257	0,0928	-0,2559	-0,5176	-0,375	0,5582	-0,1046	0,181	0,0235	-0,0809	-0,4618	-0,4739
pF 1,5	0,2517	0,3222	-0,1001	-0,1503	-0,0427	-0,5412	-0,5088	-0,1539	0,5449	-0,1222	0,2796	0,2294	-0,0721	-0,4263	-0,4812
pF2,3	0,2016	0,2495	-0,2826	-0,0737	-0,2607	-0,6029	-0,5265	-0,0671	0,4963	-0,1414	0,2252	0,2353	-0,0221	-0,4719	-0,5622
pF 3,4	0,3046	0,2331	-0,5931	-0,1739	-0,2047	-0,1029	-0,4735	-0,2454	0,3741	-0,458	0,0559	0,15	0,1898	-0,3518	-0,3017
pF 4,2	0,5798	0,4499	-0,0309	0,056	0,1208	-0,1794	-0,6206	0,0061	0,1694	-0,5729	0,2826	0,1471	-0,1207	-0,0135	-0,2369
pH	-0,1717	-0,193	0,1612	0,3148	-0,0887	0,4814	0,45	0,4647	-0,7817	0,2948	-0,1868	-0,3325	-0,0451	0,5981	0,4924
C.E.	0,295	0,2538	0,6817	0,7722	0,5521	0,4133	0,434	0,5826	-0,804	0,3949	0,1902	-0,116	-0,0829	0,6442	0,4826
M.O	0,9143	0,6629	0,311	0,1613	0,4153	0,2178	-0,3643	0,0322	-0,1116	-0,2523	0,3418	0,0774	-0,1084	0,1421	-0,03
S.B	-0,6405	-0,4256	-0,001	0,06	0,0682	0,2632	0,7234	0,0129	-0,2448	0,3847	-0,5214	-0,2508	0,2148	0,2819	0,4153
CIC	0,4938	0,1567	0,1504	-0,4486	0,333	0,456	-0,0508	-0,5167	0,1369	-0,4398	-0,0306	0,0694	0,0384	-0,0035	0,1613
NT	1	0,6547	0,3304	0,1594	0,4059	0,2944	-0,4452	-0,0365	-0,0429	-0,4405	0,2894	0,1498	0,0693	0,1681	0,0507
NH ₄	0,6547	1	0,1917	0,2226	0,474	0,0437	-0,3549	0,2384	0,0214	-0,0881	0,5804	0,205	0,1963	0,0989	-0,0599
NO ₃	0,3304	0,1917	1	0,3851	0,3516	0,1508	0,2004	0,2447	-0,4028	0,2226	0,2336	-0,0754	-0,2367	0,4644	0,4059
P	0,1594	0,2226	0,3851	1	0,2733	0,0817	0,334	0,6397	-0,5854	0,4181	0,2638	-0,1944	-0,1076	0,5085	0,1946
K	0,4059	0,474	0,3516	0,2733	1	0,4938	0,1446	0,0681	-0,3495	-0,0782	0,0858	-0,064	-0,1349	0,4544	0,2523
Ca	0,2944	0,0437	0,1508	0,0817	0,4938	1	0,3106	-0,1372	-0,5145	-0,0941	-0,4739	-0,3478	0,2891	0,5192	0,6271
Mg	-0,4452	-0,3549	0,2004	0,334	0,1446	0,3106	1	0,209	-0,4804	0,6008	-0,1569	-0,195	-0,0145	0,323	0,3709
Na	-0,0365	0,2384	0,2447	0,6397	0,0681	-0,1372	0,209	1	-0,6525	0,4044	0,3545	0,0557	-0,1062	0,3935	-0,0687
Al+H	-0,0429	0,0214	-0,4028	-0,5854	-0,3495	-0,5145	-0,4804	-0,6525	1	-0,3339	0,0455	0,1798	0,1194	-0,672	-0,5196
Cu	-0,4405	-0,0881	0,2226	0,4181	-0,0782	-0,0941	0,6008	0,4044	-0,3339	1	0,1521	-0,2182	-0,0155	0,0247	-0,0005
Fe	0,2894	0,5804	0,2336	0,2638	0,0858	-0,4739	-0,1569	0,3545	0,0455	0,1521	1	0,5225	-0,2407	-0,248	-0,2755
Mn	0,1498	0,205	-0,0754	-0,1944	-0,064	-0,3478	-0,195	0,0557	0,1798	-0,2182	0,5225	1	0,2592	-0,5074	-0,0837
Zn	0,0693	0,1963	-0,2367	-0,1076	-0,1349	0,2891	-0,0145	-0,1062	0,1194	-0,0155	-0,2407	0,2592	1	-0,1463	0,2811
B	0,1681	0,0989	0,4644	0,5085	0,4544	0,5192	0,323	0,3935	-0,672	0,0247	-0,248	-0,5074	-0,1463	1	0,5362
SO ₄	0,0507	-0,0599	0,4059	0,1946	0,2523	0,6271	0,3709	-0,0687	-0,5196	-0,0005	-0,2755	-0,0837	0,2811	0,5362	1



ANEXO 9. Estadística descriptiva de las propiedades físicas-químicas de epipedones bajo los distintos tipos de cobertura

Tabla 1. Valores de la media, mediana, moda, desviación típica, varianza, rango, suma y percentiles (25-75) de las propiedades físicas de epipedones bajo bosque de neblina montano

	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Ksat (cm/h)	D.A. (g/cm ³)	pF 0 (cm ³ /cm ³)	pF 0,5 (cm ³ /cm ³)	pF 1,5 (cm ³ /cm ³)	pF 2,3 (cm ³ /cm ³)	pF 3,4 (cm ³ /cm ³)	pF 4,2 (cm ³ /cm ³)
Media	48,00	24,67	27,33	4,76	0,89	0,65	0,63	0,53	0,47	0,45	0,34
Mediana	50,00	24,00	28,00	4,43	0,85	0,66	0,64	0,54	0,49	0,45	0,35
Moda	30,00	24,00	28,00	1,19	0,75	0,54	0,53	0,47	0,43	0,41	0,27
Desv. típ.	10,81	3,72	8,07	3,27	0,16	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,04
Varianza	116,80	13,87	65,07	10,68	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rango	30,00	10,00	24,00	9,29	0,45	0,17	0,14	0,10	0,08	0,08	0,11
Suma	288,00	148,00	164,00	28,55	5,34	3,88	3,76	3,15	2,84	2,69	2,06
Percentiles	25	39,00	21,50	20,50	2,02	0,78	0,62	0,60	0,48	0,43	0,31
	75	57,00	28,50	32,50	6,91	0,98	0,68	0,56	0,50	0,48	0,38

Tabla 1.1. Valores de la media, mediana, moda, desviación típica, varianza, rango, suma y percentiles (25-75) de las propiedades químicas de epipedones bajo bosque de neblina montano

	pH	C.E. (mmhos/cm)	M.O. (%)	S.B (%)	CIC (meq/100g)	NT (%)	NH ₄ (ppm)	NO ₃ (ppm)	P (ppm)	K (meq/100ml)
Media	6,16	0,35	23,04	74,75	29,77	1,12	53,63	14,12	12,17	0,65
Mediana	6,00	0,35	22,87	79,91	26,00	0,99	51,10	12,30	5,90	0,60
Moda	5,80	0,22	3,14	30,35	22,00	0,07	26,30	4,00	2,00	0,09
Desv. típ.	0,42	0,21	17,25	18,86	7,35	0,72	30,47	11,66	10,71	0,38
Varianza	0,18	0,05	297,60	355,71	54,03	0,52	928,25	136,03	114,65	0,15
Rango	1,50	0,78	48,95	65,92	19,00	2,30	106,90	46,20	28,40	1,22
Suma	80,10	4,50	299,53	971,72	387,00	14,54	697,20	183,50	158,20	8,39
Percentiles	25	5,85	0,19	8,13	61,63	23,00	0,53	26,30	6,05	2,75
	75	6,35	0,48	39,13	88,75	37,00	1,74	64,50	17,10	22,35



		Ca (meq/100ml)	Mg (meq/100ml)	Na (meq/100ml)	Al+H (meq/100ml)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	B (ppm)	SO ₄ (ppm)
Media		17,19	3,09	0,02	0,68	1,23	48,12	8,85	11,33	0,30	15,42
Mediana		18,56	2,80	0,02	0,50	0,90	38,40	6,60	7,50	0,19	14,60
Moda		6,96	1,17	0,02	0,40	0,90	2,40	1,80	2,60	0,01	4,20
Desv. típ.		3,54	1,37	0,01	0,58	1,10	40,73	8,04	13,51	0,37	7,74
Varianza		12,55	1,87	0,00	0,33	1,21	1658,73	64,65	182,43	0,14	59,98
Rango		12,96	5,53	0,04	2,15	4,25	122,70	26,70	51,94	1,38	25,40
Suma		223,53	40,13	0,30	8,79	16,05	625,60	115,00	147,34	3,90	200,40
Percentiles	25	16,70	2,27	0,02	0,43	0,75	7,95	3,10	4,10	0,07	9,10
	75	19,12	3,47	0,03	0,61	1,25	69,70	12,75	12,55	0,38	20,60

Tabla 2. Valores de la media, mediana, moda, desviación típica, varianza, rango, suma y percentiles (25-75) de las propiedades físicas de epipedones bajo pasto sin manejo

		Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Ksat (cm/h)	D.A. (g/ cm ³)	pF 0 (cm ³ /cm ³)	pF 0,5 (cm ³ /cm ³)	pF 1,5 (cm ³ /cm ³)	pF 2,3 (cm ³ /cm ³)	pF 3,4 (cm ³ /cm ³)	pF 4,2 (cm ³ /cm ³)
Media		44,80	25,20	30,00	2,52	0,79	0,66	0,64	0,59	0,50	0,45	0,35
Mediana		44,00	26,00	30,00	2,00	0,82	0,66	0,65	0,60	0,51	0,46	0,35
Moda		36,00	28,00	22,00	0,69	0,63	0,60	0,60	0,56	0,47	0,39	0,29
Desv. típ.		6,72	3,35	5,83	2,12	0,12	0,04	0,03	0,03	0,02	0,04	0,04
Varianza		45,20	11,20	34,00	4,51	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rango		18,00	8,00	16,00	5,05	0,31	0,09	0,07	0,07	0,05	0,10	0,11
Suma		224,00	126,00	150,00	12,61	3,96	3,28	3,20	2,95	2,49	2,25	1,76
Percentiles	25	39,00	22,00	25,00	0,72	0,68	0,62	0,61	0,56	0,48	0,42	0,32
	75	51,00	28,00	35,00	4,59	0,89	0,69	0,66	0,62	0,51	0,48	0,39



Tabla 2.1. Valores de la media, mediana, moda, desviación típica, varianza, rango, suma y percentiles (25-75) de las propiedades químicas de epipedones bajo pasto sin manejo

		pH	C.E. (mmhos/cm)	M.O. (%)	S.B (%)	CIC (meq/100g)	NT (%)	NH ₄ (ppm)	NO ₃ (ppm)	P (ppm)	K (meq/100ml)
Media		5,68	0,20	8,60	47,20	35,20	0,61	48,46	9,66	3,78	0,75
Mediana		5,80	0,18	8,48	47,69	32,00	0,64	35,90	6,10	2,70	0,56
Moda		5,80	0,10	7,10	33,63	32,00	0,51	35,90	0,60	2,30	0,05
Desv. típ.		0,24	0,09	1,18	9,43	5,54	0,07	26,49	10,12	2,59	0,70
Varianza		0,06	0,01	1,39	88,95	30,70	0,01	701,57	102,50	6,72	0,49
Rango		0,60	0,25	3,20	22,59	13,00	0,17	66,80	26,10	6,10	1,82
Suma		28,40	0,99	42,99	236,01	176,00	3,03	242,30	48,30	18,90	3,77
Percentiles	25	5,45	0,13	7,61	38,24	31,00	0,53	31,10	2,65	2,45	0,22
	75	5,85	0,28	9,65	55,93	41,00	0,67	72,10	18,45	5,65	1,39

		Ca (meq/100ml)	Mg (meq/100ml)	Na (meq/100ml)	Al+H (meq/100ml)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	B (ppm)	SO ₄ (ppm)
Media		11,75	2,06	0,03	1,99	1,72	223,78	12,90	18,12	0,02	8,54
Mediana		14,07	2,28	0,02	0,74	1,70	201,20	13,20	9,80	0,01	8,80
Moda		2,52	0,57	0,02	0,62	0,70	101,00	2,80	5,10	0,01	6,00
Desv. típ.		5,25	0,88	0,02	2,59	0,76	136,40	9,25	13,95	0,01	2,81
Varianza		27,58	0,77	0,00	6,71	0,57	18605,41	85,60	194,60	0,00	7,90
Rango		12,40	2,33	0,05	5,98	2,10	342,00	19,80	31,50	0,03	6,80
Suma		58,75	10,28	0,16	9,94	8,60	1118,90	64,50	90,60	0,09	42,70
Percentiles	25	7,49	1,39	0,02	0,67	1,10	112,20	3,60	7,40	0,01	5,85
	75	14,85	2,62	0,05	3,93	2,35	346,65	22,05	33,00	0,03	11,10



Tabla 3. Valores de la media, mediana, moda, desviación típica, varianza, rango, suma y percentiles (25-75) de las propiedades físicas de epipedones bajo pasto con manejo

		Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Ksat (cm/h)	D.A. (g/cm ³)	pF 0 (cm ³ /cm ³)	pF 0,5 (cm ³ /cm ³)	pF 1,5 (cm ³ /cm ³)	pF 2,3 (cm ³ /cm ³)	pF 3,4 (cm ³ /cm ³)	pF 4,2 (cm ³ /cm ³)
Media		58,80	22,40	18,80	3,65	0,71	0,72	0,70	0,64	0,53	0,46	0,41
Mediana		60,00	24,00	18,00	1,75	0,79	0,72	0,69	0,61	0,50	0,42	0,37
Moda		44	18	10	0,52	0,44	0,64	0,61	0,58	0,44	0,39	0,36
Desv. típ.		10,16	4,10	7,29	4,40	0,23	0,07	0,07	0,08	0,11	0,10	0,08
Varianza		103,20	16,80	53,20	19,32	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Rango		28,00	8,00	20,00	10,84	0,50	0,19	0,19	0,18	0,24	0,24	0,19
Suma		294,00	112,00	94,00	18,25	3,57	3,62	3,50	3,22	2,65	2,32	2,04
Percentiles	25	50,00	18,00	13,00	1,10	0,48	0,66	0,64	0,59	0,44	0,40	0,36
	75	67,00	26,00	25,00	7,15	0,91	0,79	0,77	0,72	0,64	0,55	0,48

Tabla 3.1. Valores de la media, mediana, moda, desviación típica, varianza, rango, suma y percentiles (25-75) de las propiedades químicas de epipedones bajo pasto con manejo

		pH	C.E. (mmhos/cm)	M.O. (%)	S.B (%)	CIC (meq/100g)	NT (%)	NH ₄ (ppm)	NO ₃ (ppm)	P (ppm)	K (meq/100ml)
Media		5,42	0,18	14,28	30,12	37,60	0,75	72,14	11,88	4,02	0,21
Mediana		5,40	0,11	11,14	23,13	33,00	0,68	37,80	10,90	2,40	0,21
Moda		5,30	0,11	4,70	16,10	30	0,37	24,4	2,6	0,8	0,06
Desv. típ.		0,13	0,15	10,02	15,69	9,96	0,39	54,26	9,06	3,23	0,11
Varianza		0,02	0,02	100,44	246,20	99,30	0,15	2944,68	82,13	10,45	0,01
Rango		0,30	0,34	20,76	39,48	24,00	0,85	108,80	23,60	6,90	0,30
Suma		27,10	0,91	71,41	150,60	188,00	3,74	360,70	59,40	20,10	1,07
Percentiles	25	5,30	0,11	5,22	18,81	30,50	0,39	30,15	4,35	1,35	0,12
	75	5,55	0,30	24,92	44,93	47,00	1,15	131,30	19,90	7,50	0,31



	Ca (meq/100ml)	Mg (meq/100ml)	Na (meq/100ml)	Al+H (meq/100ml)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	B (ppm)	SO ₄ (ppm)
Media	5,75	1,18	0,05	3,58	1,44	248,38	11,80	3,08	0,07	6,18
Mediana	6,06	0,45	0,05	3,46	1,00	140,50	2,20	1,70	0,01	6,30
Moda	1,02	,33	0,05	,4	,6	46,7	1,9	1,0	0,01	6,30
Desv. típ.	4,12	1,50	0,01	3,06	1,12	232,80	14,25	2,66	0,13	3,25
Varianza	16,99	2,24	0,00	9,35	1,26	54195,41	203,02	7,06	0,02	10,56
Rango	9,81	3,49	0,03	8,08	2,80	513,50	31,50	6,50	0,29	8,10
Suma	28,75	5,92	0,23	17,88	7,20	1241,90	59,00	15,40	0,34	30,90
Percentiles	25	1,66	0,35	1,11	0,75	55,30	1,95	1,30	0,01	3,45
	75	9,69	2,39	0,06	6,10	495,40	26,45	5,55	0,16	8,85

Tabla 4. Valores de la media, mediana, moda, desviación típica, varianza, rango, suma y percentiles (25-75) de las propiedades físicas de epipedones bajo cultivo

	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Ksat (cm/h)	D.A. (g/cm ³)	pF 0 (cm ³ /cm ³)	pF 0,5 (cm ³ /cm ³)	pF 1,5 (cm ³ /cm ³)	pF 2,3 (cm ³ /cm ³)	pF 3,4 (cm ³ /cm ³)	pF 4,2 (cm ³ /cm ³)
Media	45,00	28,00	27,00	6,13	0,73	0,70	0,69	0,63	0,50	0,44	0,32
Mediana	43,00	27,00	28,00	5,53	0,81	0,68	0,67	0,64	0,48	0,42	0,33
Moda	34	22	28,00	2,6	,435	,666	,659	,536	,434	,357	,250
Desv. típ.	10,64	7,48	4,86	3,75	0,16	0,05	0,05	0,05	0,07	0,09	0,06
Varianza	113,20	56,00	23,60	14,09	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Rango	28,00	16,00	14,00	10,83	0,41	0,12	0,12	0,15	0,20	0,25	0,16
Suma	270,00	168,00	162,00	36,77	4,37	4,19	4,15	3,78	2,98	2,64	1,93
Percentiles	25	35,50	21,50	24,00	3,70	0,59	0,67	0,59	0,45	0,37	0,26
	75	54,50	36,00	30,50	7,62	0,84	0,72	0,67	0,53	0,50	0,36



Tabla 4.1. Valores de la media, mediana, moda, desviación típica, varianza, rango, suma y percentiles (25-75) de las propiedades químicas de epipedones bajo cultivo

		pH	C.E. (mmhos/cm)	M.O. (%)	S.B (%)	CIC (meq/100g)	NT (%)	NH ₄ (ppm)	NO ₃ (ppm)	P (ppm)	K (meq/100ml)
Media		5,72	0,40	12,71	47,02	34,33	0,76	36,82	25,10	24,92	0,82
Mediana		5,75	0,30	11,07	50,08	34,50	0,80	35,90	19,45	13,70	0,81
Moda		6,10	,1	6,13	13,09	37,00	,44	51,10	7,4	4,2	,11
Desv. típ.		0,51	0,28	7,70	21,44	2,66	0,27	12,91	17,35	24,38	0,41
Varianza		0,26	0,08	59,29	459,55	7,07	0,07	166,77	300,86	594,33	0,17
Rango		1,20	0,67	19,89	57,63	6,00	0,62	28,60	49,60	58,00	1,16
Suma		34,30	2,40	76,28	282,14	206,00	4,55	220,90	150,60	149,50	4,91
Percentiles	25	5,25	0,17	6,45	30,81	31,75	0,47	23,93	14,15	6,23	0,59
	75	6,15	0,73	18,09	63,78	37,00	1,00	51,10	37,43	52,15	1,19

		Ca (meq/100ml)	Mg (meq/100ml)	Na (meq/100ml)	Al+H (meq/100ml)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	B (ppm)	SO ₄ (ppm)
Media		11,84	2,01	0,04	1,35	1,70	109,67	5,00	11,25	0,19	9,65
Mediana		11,49	2,07	0,04	1,37	1,45	101,50	4,65	4,95	0,22	8,05
Moda		1,31 ^a	,28 ^a	0,02	1,80	,9	22,3	1,7	3	0,01	4,8
Desv. típ.		6,74	0,97	0,02	0,85	0,90	70,57	3,29	11,30	0,17	5,69
Varianza		45,40	0,94	0,00	0,72	0,81	4980,66	10,82	127,70	0,03	32,36
Rango		18,04	2,80	0,06	2,18	2,50	212,80	8,70	26,40	0,35	15,60
Suma		71,01	12,04	0,25	8,08	10,20	658,00	30,00	67,50	1,15	57,90
Percentiles	25	6,88	1,44	0,02	0,52	1,05	63,70	2,15	3,65	0,01	5,48
	75	18,83	2,82	0,07	2,00	2,28	148,85	7,33	23,75	0,35	13,28



Tabla 5. Valores de media, mediana, moda, desviación típica, varianza, rango, suma, percentiles (25-75) de propiedades físicas de endopedones bajo bosque

	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Ksat (cm/h)	D A (g/cm ³)	pF 0 (cm ³ /cm ³)	pF 0,5 (cm ³ /cm ³)	pF 1,5 (cm ³ /cm ³)	pF 2,3 (cm ³ /cm ³)	pF 3,4 (cm ³ /cm ³)	pF 4,2 (cm ³ /cm ³)
Media	48,50	29,50	22,00	3,47	0,86	0,67	0,65	0,57	0,50	0,46	0,35
Mediana	47,00	29,00	21,00	2,46	0,83	0,67	0,65	0,58	0,50	0,47	0,36
Moda	42,00	24,00	16,00	0,85	0,73	0,59	0,58	0,53	0,48	0,41	0,31
Desv. típ.	6,81	6,40	6,33	3,28	0,14	0,07	0,06	0,03	0,02	0,03	0,03
Varianza	46,33	41,00	40,00	10,75	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rango	16,00	12,00	14,00	7,25	0,34	0,16	0,14	0,07	0,04	0,08	0,06
Suma	194,00	118,00	88,00	13,86	3,44	2,67	2,61	2,28	1,99	1,82	1,39
Percentiles	25	43,00	24,00	16,50	1,00	0,75	0,60	0,60	0,54	0,48	0,32
	75	55,50	35,50	28,50	6,93	1,01	0,73	0,70	0,60	0,51	0,37

Tabla 5.1. Valores de media, mediana, moda, desviación típica, varianza, rango, suma, percentiles (25-75) de propiedades químicas de endopedones bajo bosque

	pH	C.E. (mmhos/cm)	M.O. (%)	S.B (%)	CIC (meq/100g)	NT (%)	NH ₄ (ppm)	NO ₃ (ppm)	P (ppm)	K (meq/100ml)
Media	5,48	0,08	4,00	73,92	33,25	0,29	20,63	5,38	1,43	0,21
Mediana	5,35	0,08	2,20	74,56	34,00	0,24	14,90	5,05	1,10	0,22
Moda	5,00	0,08	1,74	65,09	34,00	0,07	14,90	2,60	0,30	0,32
Desv. típ.	0,53	0,03	3,91	7,33	2,22	0,23	16,90	2,58	1,28	0,13
Varianza	0,28	0,00	15,32	53,71	4,92	0,05	285,64	6,63	1,65	0,02
Rango	1,20	0,07	8,12	16,38	5,00	0,54	38,10	6,20	2,90	0,23
Suma	21,90	0,33	16,00	295,68	133,00	1,15	82,50	21,50	5,70	0,84
Percentiles	25	5,05	0,06	1,82	66,57	31,00	0,11	9,20	3,13	0,10
	75	6,03	0,11	7,98	80,63	34,75	0,52	37,78	7,95	0,32



	Ca (meq/100ml)	Mg (meq/100ml)	Na (meq/100ml)	Al+H (meq/100ml)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	B (ppm)	SO ₄ (ppm)
Media	12,60	3,35	0,03	8,40	1,95	81,25	7,33	5,68	0,02	8,88
Mediana	13,45	3,74	0,03	6,80	1,50	39,80	6,30	6,05	0,01	8,50
Moda	5,63	1,47	0,02	2,50	1,10	39,80	2,80	3,10	0,01	6,60
Desv. típ.	5,95	1,29	0,01	6,64	1,19	88,31	5,25	1,88	0,02	2,33
Varianza	35,45	1,68	0,00	44,14	1,40	7799,34	27,54	3,55	0,00	5,41
Rango	12,26	2,97	0,01	15,00	2,60	181,80	11,10	4,40	0,03	5,30
Suma	50,41	13,39	0,10	33,60	7,80	325,00	29,30	22,70	0,07	35,50
Percentiles 25	6,64	2,04	0,02	3,03	1,18	33,80	2,95	3,73	0,01	6,85
75	17,72	4,27	0,03	15,38	3,18	170,15	12,73	7,25	0,03	11,28

Tabla 6. Valores de media, mediana, moda, desviación típica, varianza, rango, suma, percentiles (25-75) de propiedades físicas de endopedones bajo pasto sin manejo

	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Ksat (cm/h)	D A (g/cm ³)	pF 0 (cm ³ /cm ³)	pF 0,5 (cm ³ /cm ³)	pF 1,5 (cm ³ /cm ³)	pF 2,3 (cm ³ /cm ³)	pF 3,4 (cm ³ /cm ³)	pF 4,2 (cm ³ /cm ³)
Media	60,00	23,33	16,67	1,35	1,03	0,59	0,57	0,52	0,46	0,44	0,29
Mediana	60,00	24,00	20,00	0,77	0,98	0,58	0,56	0,52	0,47	0,47	0,28
Moda	54,00	20,00	8,00	0,66	0,92	0,55	0,54	0,48	0,43	0,39	0,27
Desv. típ.	6,00	3,06	7,57	1,10	0,15	0,05	0,04	0,03	0,03	0,04	0,02
Varianza	36,00	9,33	57,33	1,22	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rango	12,00	6,00	14,00	1,97	0,28	0,09	0,08	0,07	0,07	0,07	0,04
Suma	180,00	70,00	50,00	4,06	3,10	1,76	1,72	1,55	1,39	1,32	0,87
Percentiles 25	54,00	20,00	8,00	0,66	0,92	0,55	0,54	0,48	0,43	0,39	0,27
75											



Tabla 6.1. Valores de media, mediana, moda, desviación típica, varianza, rango, suma, percentiles (25-75) de propiedades químicas de endopedones bajo pasto sin manejo

	pH	C.E. (mmhos/cm)	M.O. (%)	S.B (%)	CIC (meq/100g)	NT (%)	NH ₄ (ppm)	NO ₃ (ppm)	P (ppm)	K (meq/100ml)
Media	5,78	0,14	2,47	78,98	30,25	0,23	16,33	4,73	4,23	0,47
Mediana	6,00	0,13	2,75	83,11	30,00	0,25	15,85	4,00	2,50	0,43
Moda	6,00	0,05	1,03	61,94	25,00	0,14	13,00	4,00	0,60	0,13
Desv. típ.	0,45	0,09	1,07	11,86	4,57	0,07	3,25	4,52	5,02	0,38
Varianza	0,20	0,01	1,14	140,68	20,92	0,01	10,53	20,41	25,21	0,15
Rango	0,90	0,20	2,33	25,82	11,00	0,15	7,60	10,87	10,70	0,77
Suma	23,10	0,56	9,89	315,91	121,00	0,92	65,30	18,93	16,90	1,89
Percentiles	25	5,33	0,06	1,35	66,43	26,00	0,16	13,48	1,02	0,14
	75	6,00	0,23	3,32	87,40	34,75	0,29	19,65	9,18	0,85

	Ca (meq/100ml)	Mg (meq/100ml)	Na (meq/100ml)	Al+H (meq/100ml)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	B (ppm)	SO ₄ (ppm)
Media	15,03	4,03	0,04	4,82	1,75	43,85	6,23	18,65	0,07	7,65
Mediana	17,59	4,07	0,03	0,78	1,70	34,35	3,20	14,30	0,06	7,15
Moda	6,52	0,91	0,03	0,32	1,70	18,40	1,00	2,00	0,01	6,30
Desv. típ.	5,69	2,78	0,01	8,39	0,74	30,88	7,64	20,26	0,07	1,62
Varianza	32,39	7,74	0,00	70,45	0,54	953,75	58,38	410,49	0,01	2,63
Rango	11,90	6,17	0,02	17,08	1,80	69,90	16,50	42,00	0,15	3,70
Suma	60,12	16,12	0,14	19,28	7,00	175,40	24,90	74,60	0,28	30,60
Percentiles	25	9,22	1,34	0,03	0,36	1,10	21,05	1,28	0,01	6,48
	75	18,28	6,69	0,05	13,33	2,45	76,15	14,20	0,15	9,33



Tabla 7. Valores de media, mediana, moda, desviación típica, varianza, rango, suma, percentiles (25-75) de propiedades físicas de endopedones bajo pasto con manejo

	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Ksat (cm/h)	D A (g/cm ³)	pF 0 (cm ³ /cm ³)	pF 0,5 (cm ³ /cm ³)	pF 1,5 (cm ³ /cm ³)	pF 2,3 (cm ³ /cm ³)	pF 3,4 (cm ³ /cm ³)	pF 4,2 (cm ³ /cm ³)
Media	57,67	22,00	20,33	1,22	1,05	0,61	0,60	0,58	0,53	0,44	0,35
Mediana	59,00	22,00	17,00	0,65	1,09	0,58	0,56	0,54	0,50	0,45	0,37
Moda	42,00	20,00	16,00	0,14	0,76	0,50	0,50	0,49	0,45	0,34	0,21
Desv. típ.	12,23	4,20	9,75	1,57	0,20	0,10	0,10	0,09	0,08	0,07	0,10
Varianza	149,47	17,60	95,07	2,45	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Rango	30,00	12,00	26,00	4,21	0,55	0,25	0,25	0,23	0,17	0,18	0,26
Suma	346,00	132,00	122,00	7,33	6,31	3,67	3,58	3,46	3,17	2,62	2,07
Percentiles	25	45,00	19,00	14,00	0,35	0,86	0,54	0,54	0,52	0,47	0,36
	75	69,00	25,00	31,00	1,93	1,20	0,72	0,69	0,67	0,62	0,50

Tabla 7.1. Valores de media, mediana, moda, desviación típica, varianza, rango, suma, percentiles (25-75) de propiedades químicas de endopedones bajo pasto con manejo

	pH	C.E. (mmhos/cm)	M.O. (%)	S.B (%)	CIC (meq/100g)	NT (%)	NH ₄ (ppm)	NO ₃ (ppm)	P (ppm)	K (meq/100ml)
Media	5,79	0,14	5,38	52,62	26,31	0,27	26,76	6,81	3,56	0,19
Mediana	5,80	0,12	2,08	48,60	27,00	0,22	14,90	7,40	3,40	0,15
Moda	5,20	0,07	0,39	12,73	8,15	0,04	7,30	1,20	1,00	0,08
Desv. típ.	0,49	0,07	7,00	25,85	9,40	0,21	29,45	4,97	2,69	0,15
Varianza	0,24	0,00	48,93	668,06	88,33	0,05	867,00	24,67	7,25	0,02
Rango	1,40	0,15	20,17	77,79	28,85	0,64	82,90	13,10	7,70	0,44
Suma	40,50	0,95	37,65	368,37	184,15	1,89	187,30	47,70	24,90	1,33
Percentiles	25	5,20	0,07	1,73	37,40	0,13	7,30	1,90	1,40	0,10
	75	6,00	0,20	6,55	79,30	0,41	32,10	11,50	4,50	0,18



	Ca (meq/100ml)	Mg (meq/100ml)	Na (meq/100ml)	Al+H (meq/100ml)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	B (ppm)	SO ₄ (ppm)
Media	8,26	3,69	0,05	3,42	3,30	174,53	14,20	3,29	0,03	7,09
Mediana	8,32	1,41	0,04	1,74	2,80	136,10	9,60	3,30	0,01	6,30
Moda	1,10	0,34	0,04	0,30	2,80	53,00	2,00	1,50	0,01	2,70
Desv. típ.	5,24	4,20	0,01	3,97	2,72	118,25	13,38	1,44	0,03	3,18
Varianza	27,44	17,62	0,00	15,76	7,37	13983,17	178,98	2,09	0,00	10,11
Rango	15,66	9,50	0,04	10,30	6,60	327,30	34,80	3,60	0,06	8,90
Suma	57,83	25,82	0,32	23,94	23,10	1221,70	99,40	23,00	0,19	49,60
Percentiles 25	3,59	0,53	0,04	0,30	1,20	56,00	5,00	1,60	0,01	4,20
75	11,42	9,50	0,05	6,80	6,80	271,60	29,30	4,50	0,07	9,70

Tabla 8. Valores de media, mediana, moda, desviación típica, varianza, rango, suma, percentiles (25-75) de propiedades físicas de endopedones bajo cultivo

	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Ksat (cm/h)	D A (g/cm ³)	pF 0 (cm ³ /cm ³)	pF 0,5 (cm ³ /cm ³)	pF 1,5 (cm ³ /cm ³)	pF 2,3 (cm ³ /cm ³)	pF 3,4 (cm ³ /cm ³)	pF 4,2 (cm ³ /cm ³)
Media	49,33	27,33	23,33	0,98	0,92	0,62	0,60	0,53	0,46	0,39	0,30
Mediana	48,00	26,00	20,00	0,83	0,83	0,68	0,64	0,53	0,47	0,40	0,26
Moda	36,00	24,00	10,00	0,47	0,62	0,50	0,50	0,49	0,42	0,33	0,23
Desv. típ.	14,05	4,16	15,28	0,60	0,36	0,10	0,08	0,04	0,03	0,06	0,09
Varianza	197,33	17,33	233,33	0,36	0,13	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
Rango	28,00	8,00	30,00	1,17	0,71	0,18	0,15	0,07	0,06	0,11	0,17
Suma	148,00	82,00	70,00	2,94	2,77	1,86	1,79	1,59	1,36	1,18	0,89
Percentiles 25	36,00	24,00	10,00	0,47	0,62	0,50	0,50	0,49	0,42	0,33	0,23
75											



Tabla 8.1. Valores de media, mediana, moda, desviación típica, varianza, rango, suma, percentiles (25-75) de propiedades químicas de endopedones bajo cultivo

	pH	C.E. (mmhos/cm)	M.O. (%)	S.B (%)	CIC (meq/100g)	NT (%)	NH ₄ (ppm)	NO ₃ (ppm)	P (ppm)	K (meq/100ml)
Media	5,67	0,41	2,78	70,07	33,33	0,42	22,50	25,33	5,70	0,48
Mediana	5,60	0,15	2,03	61,40	35,00	0,24	22,50	6,70	8,40	0,42
Moda	5,20	0,11	0,63	60,86	23,00	0,11	20,60	5,40	8,40	0,14
Desv. típ.	0,50	0,49	2,61	15,49	9,61	0,44	1,90	33,41	4,68	0,38
Varianza	0,25	0,24	6,80	240,02	92,33	0,19	3,61	1115,96	21,87	0,14
Rango	1,00	0,86	5,05	27,10	19,00	0,81	3,80	58,50	8,10	0,75
Suma	17,00	1,23	8,34	210,22	100,00	1,27	67,50	76,00	17,10	1,45
Percentiles	25	5,20	0,11	0,63	23,00	0,11	20,60	5,40	0,30	0,14
	75									

	Ca (meq/100ml)	Mg (meq/100ml)	Na (meq/100ml)	Al+H (meq/100ml)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	B (ppm)	SO ₄ (ppm)
Media	14,67	3,93	0,05	3,31	3,47	87,60	7,67	19,93	0,25	9,30
Mediana	13,60	2,74	0,04	0,54	1,40	71,60	6,40	24,80	0,09	7,90
Moda	12,97	2,50	0,03	0,38	1,30	49,00	1,50	4,60	0,01	6,60
Desv. típ.	2,43	2,23	0,03	4,93	3,67	48,62	6,89	13,57	0,34	3,61
Varianza	5,88	4,98	0,00	24,32	13,44	2363,56	47,44	184,17	0,12	13,03
Rango	4,48	3,96	0,05	8,62	6,40	93,20	13,60	25,80	0,63	6,80
Suma	44,02	11,78	0,15	9,92	10,40	262,80	23,00	59,80	0,74	27,90
Percentiles	25	12,97	2,54	0,03	1,30	49,00	1,50	4,60	0,01	6,60
	75									



ANEXO 10. Diagrama de tallo y hoja de propiedades físico-químicas de epipedones (horizontes superficiales)

Arena

Frecuencia Tallo y hoja

2,00	3 . 04
2,00	3 . 66
5,00	4 . 02244
3,00	4 . 688
3,00	5 . 224
2,00	5 . 66
4,00	6 . 0022
,00	6 .
1,00	7 . 2

Limo

Frecuencia Tallo y hoja

2,00	1 . 88
10,00	2 . 0002224444
6,00	2 . 666888
2,00	3 . 02
2,00	3 . 66

Arcilla

Frecuencia Tallo y hoja

1,00	1 . 0
4,00	1 . 6688
3,00	2 . 022
6,00	2 . 688888
6,00	3 . 000022
1,00	3 . 8
1,00	4 . 0

Ksat

Frecuencia Tallo y hoja

6,00	0 . 000111
6,00	0 . 222233
7,00	0 . 4555555
,00	0 .
,00	0 .
2,00	1 . 01
1,00	Extremos (≥ 13)

Densidad aparente

Frecuencia Tallo y hoja

2,00	Extremos (≤ 44)
1,00	5 . 1
,00	5 .
2,00	6 . 24
,00	6 .
2,00	7 . 24
3,00	7 . 889
6,00	8 . 223344
2,00	8 . 78
3,00	9 . 033
1,00	Extremos ($\geq 1,19$)

pF 0

Frecuencia Tallo y hoja

1,00	Extremos (≤ 54)
1,00	5 . 9
3,00	6 . 444
11,00	6 . 56666777888
4,00	7 . 0014
2,00	Extremos (≥ 79)

pF 0,5

Frecuencia Tallo y hoja

1,00	Extremos (≤ 53)
1,00	5 . 9
5,00	6 . 12334
11,00	6 . 55566666678
2,00	7 . 03
2,00	Extremos (≥ 78)

pF 1,5

Frecuencia Tallo y hoja

2,00	4 . 68
3,00	5 . 333
7,00	5 . 5566799
5,00	6 . 01122
4,00	6 . 5678
1,00	Extremos (≥ 76)



pF 2,3

Frecuencia Tallo y hoja

1,00	42 . 9
4,00	43 . 0349
,00	44 .
1,00	45 . 4
1,00	46 . 8
1,00	47 . 7
3,00	48 . 137
3,00	49 . 569
4,00	50 . 0589
,00	51 .
1,00	52 . 0
3,00	Extremes (>=,600)

pF 3,4

Frecuencia Tallo y hoja

1,00	3 . 5
1,00	3 . 7
2,00	3 . 89
4,00	4 . 0011
3,00	4 . 223
3,00	4 . 555
3,00	4 . 677
3,00	4 . 889
2,00	Extremes (>=,60)

pF 4,2

Frecuencia Tallo y hoja

2,00	Extremes (=<,26)
2,00	2 . 78
5,00	3 . 22344
9,00	3 . 555566777
3,00	4 . 001
1,00	Extremes (>=,55)

pH

Frecuencia Tallo y hoja

1,00	5 . 1
4,00	5 . 3333
3,00	5 . 445
3,00	5 . 666
7,00	5 . 8888999
3,00	6 . 011
1,00	6 . 3

C.E.

Frecuencia Tallo y hoja

1,00	0 . 7
6,00	1 . 000113
5,00	1 . 55688
4,00	2 . 0223
1,00	2 . 9
1,00	3 . 0
1,00	3 . 5
1,00	4 . 4
2,00	Extremes (>=,70)

M.O.

Frecuencia Tallo y hoja

1,00	0 . 3
2,00	0 . 45
5,00	0 . 66777
7,00	0 . 8888899
2,00	1 . 01
,00	1 .
2,00	1 . 45
3,00	Extremes (>=24)

S.B.

Frecuencia Tallo y hoja

2,00	1 . 36
2,00	2 . 13
5,00	3 . 03468
2,00	4 . 27
5,00	5 . 55678
3,00	6 . 114
3,00	7 . 079

CIC

Frecuencia Tallo y hoja

1,00	2 . 6
11,00	3 . 00112223333
4,00	3 . 6779
5,00	4 . 00013
1,00	Extremes (>=54)

NT

Frecuencia Tallo y hoja

1,00	Extremes (=<,07)
1,00	3 . 7
4,00	4 . 0468
4,00	5 . 0156
7,00	6 . 0445889
,00	7 .



,00 8 .
2,00 9 . 58
3,00 Extremes ($\geq 1,06$)

NH₄

Frecuencia Tallo y hoja

5,00 2 . 02444
3,00 2 . 666
1,00 3 . 0
4,00 3 . 5557
2,00 4 . 11
,00 4 .
4,00 5 . 1111
3,00 Extremes (≥ 93)

NO₃

Frecuencia Tallo y hoja

6,00 0 . 012444
5,00 0 . 66789
3,00 1 . 003
4,00 1 . 6699
,00 2 .
2,00 2 . 66
1,00 3 . 0
1,00 Extremes (≥ 57)

P

Frecuencia Tallo y hoja

2,00 0 . 01
9,00 0 . 222222223
3,00 0 . 445
3,00 0 . 677
1,00 0 . 8
,00 1 .
1,00 1 . 2
1,00 1 . 5
2,00 Extremes (≥ 49)

K

Frecuencia Tallo y hoja

6,00 0 . 000111
6,00 0 . 222333
2,00 0 . 55
3,00 0 . 677
2,00 0 . 89
1,00 1 . 1
1,00 1 . 2
1,00 Extremes ($\geq 1,9$)

Ca

Frecuencia Tallo y hoja

2,00 0 . 11
2,00 0 . 22
,00 0 .
2,00 0 . 66
2,00 0 . 88
2,00 1 . 00
2,00 1 . 22
3,00 1 . 444
2,00 1 . 67
5,00 1 . 88999

Mg

Frecuencia Tallo y hoja

4,00 0 . 2334
2,00 0 . 59
1,00 1 . 1
1,00 1 . 8
6,00 2 . 002233
4,00 2 . 7789
1,00 3 . 0
2,00 3 . 58
1,00 Extremes ($\geq 6,7$)

Na

Frecuencia Tallo y hoja

8,00 2 . 00000000
5,00 3 . 00000
2,00 4 . 00
3,00 5 . 000
2,00 6 . 00
1,00 7 . 0
1,00 8 . 0

Al+H

Frecuencia Tallo y hoja

5,00 0 . 44444
7,00 0 . 5667799
1,00 1 . 2
3,00 1 . 888
,00 2 .
2,00 2 . 57
1,00 3 . 4
1,00 3 . 7
2,00 Extremes ($\geq 6,6$)



Fe

Frecuencia	Tallo y hoja
4,00	0 . 2334
5,00	0 . 56679
7,00	1 . 0112224
,00	1 .
2,00	2 . 03
1,00	2 . 5
3,00	Extremes (>=431)

Zn

Frecuencia	Tallo y hoja
9,00	0 . 111223344
6,00	0 . 556799
2,00	1 . 03
,00	1 .
1,00	2 . 2
2,00	2 . 99
2,00	Extremes (>=37)

Mn

Frecuencia	Tallo y hoja
12,00	0 . 11122223344
2,00	0 . 66
4,00	1 . 0233
1,00	1 . 9
2,00	2 . 12
1,00	Extremes (>=33)

B

Frecuencia	Tallo y hoja
13,00	0 . 1111111111244
1,00	0 . 9
1,00	1 . 1
2,00	1 . 56
,00	2 .
1,00	2 . 5
3,00	3 . 024
1,00	3 . 6

SO₄

Frecuencia	Tallo y hoja
2,00	3 . 36
2,00	4 . 28
2,00	5 . 77
3,00	6 . 033
1,00	7 . 6
4,00	8 . 2588
2,00	9 . 47
2,00	10 . 09
1,00	11 . 4
1,00	12 . 5
2,00	Extremes (>=17,7)

ANEXO 11. Mapa de uso actual de la microcuenca del río Zhurucay

COBERTURA Y USO ACTUAL

